

Lutte antiérosive

Réhabilitation des sols tropicaux
et protection contre les pluies exceptionnelles



colloques

et

séminaires

Éditeurs scientifiques

Eric ROOSE

Hervé DUCHAUFOR

Georges DE NONI

Lutte antiérosive

Réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles

Éric Roose, Hervé Duchaufour et Georges De Noni (éd.)

DOI : 10.4000/books.irdeditions.12419

Éditeur : IRD Éditions

Année d'édition : 2012

Date de mise en ligne : 7 septembre 2018

Collection : Colloques et séminaires

ISBN électronique : 9782709922753



<http://books.openedition.org>

Édition imprimée

ISBN : 9782709917285

Nombre de pages : 758

Ce document vous est offert par Institut de recherche pour le développement (IRD)



Référence électronique

ROOSE, Éric (dir.) ; DUCHAUFOUR, Hervé (dir.) ; et DE NONI, Georges (dir.). *Lutte antiérosive : Réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles*. Nouvelle édition [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2012 (généré le 28 novembre 2018). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/12419>>. ISBN : 9782709922753. DOI : 10.4000/books.irdeditions.12419.

© IRD Éditions, 2012

Conditions d'utilisation :

<http://www.openedition.org/6540>

Lutte antiérosive

Réhabilitation des sols tropicaux
et protection contre les pluies exceptionnelles



colloques
et
séminaires

Éditeurs scientifiques

Eric ROOSE

Hervé DUCHAUFOR

Georges DE NONI



Ambassade de France en Haïti

Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles

Editeurs scientifiques

Eric ROOSE, Hervé DUCHAUFOUR et Georges DE NONI

avec le soutien de

l'Université d'État d'Haïti

l'Université de Quisqueya

le SCAC de l'Ambassade de France en Haïti

l'Institut de recherche pour le développement (IRD)

IRD EDITIONS

Marseille, 2012

Préface

En Haïti, plus de 80% de la population vit sous le seuil de pauvreté. L'indice de développement humain de la Banque Mondiale classe le pays au 145^{ème} rang sur 169 pays. Les deux tiers des Haïtiens sont touchés par le chômage ou le sous-emploi. Haïti importe 60 % de ses besoins alimentaires et 80 % du riz qu'il consomme. Plus d'un Haïtien sur quatre est sous alimenté.

Pourquoi la première république noire, Haïti, qui a fait figure d'exception en Amérique latine, qui fut le plus important fournisseur de cacao, de sucre, de café et de coton pour l'Europe, s'est-elle déviée des valeurs portées par Toussaint-Louverture et fait partie aujourd'hui des pays les plus pauvres du monde ?

Force est d'admettre que l'économie haïtienne est affectée fréquemment par une succession d'aléas, d'origine climatique pour les plus récurrents (ouragans, cyclones, inondations) : avant le séisme de 2010, les catastrophes climatiques ont tué en 2008 plusieurs centaines de personnes et causé plus de 200 millions de dollars US de dégâts. L'insécurité alimentaire qui en résulte, concerne trois millions de personnes : l'autosuffisance alimentaire n'est plus assurée dans ces conditions. Les effets de la déforestation massive, résultant de la surpopulation paysanne pour cultiver de nouvelles terres et produire du charbon de bois, s'ajoutent à ces aléas pour contraindre le développement économique. L'environnement est très dégradé et l'érosion des sols dramatique.

C'est au regard de ce contexte que l'équipe du Réseau Erosion-GCES (Gestion conservatoire de l'eau et des sols) de l'AUF a proposé, après les réunions d'Antananarivo (2004), Marrakech(2006) et Hanoï (2008), d'organiser un nouveau colloque scientifique à Port-au-Prince pour traiter spécifiquement ce type de problématique. La question principale peut s'énoncer de la façon suivante : les techniques de lutte antiérosive (LAE) sont-elles capables de restaurer la productivité des sols et de protéger les bassins-versants des effets des pluies exceptionnelles ? Cette question est cruciale parce qu'elle se pose directement en Haïti, mais aussi parce qu'elle est d'actualité pour d'autres pays et continents aux caractéristiques proches : versants volcaniques d'Amérique latine, massifs montagneux du Maghreb, et collines surpeuplées d'Afrique de l'Est, de Madagascar et d'Asie.

Mais le séisme qui frappe l'île en janvier 2010 engendre horreur et drame : 250.000 morts en 30 secondes, des milliers de personnes disparues et 1500 000 sans abri. La ville de Port au Prince est quasi détruite, la communauté internationale tardant à la reconstruire face à l'ampleur du désastre. Aujourd'hui, le colloque initialement prévu en avril 2010 est annulé mais son objectif demeure entier, toujours d'actualité !

L'édition de ce DVD permet ainsi de mettre à disposition les textes et les résultats qui auraient du être présentés au colloque à la communauté scientifique haïtienne et internationale ainsi qu'aux décideurs politiques ou économiques : 56 documents ont été retenus, ventilés en 6 parties : 1) Efficacité de la LAE sur la restauration de la productivité des sols. 2) Influence de la LAE sur la dynamique des eaux, de la parcelle aux bassins versants. 3) Aspects agronomiques de la gestion durable de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). 4) Rôles des arbres dans la GCES. 5) Spatialisation des risques d'érosion (SIG, indicateurs, simulation de pluies) et 6) Les aspects socio-économiques de la LAE.

Ce DVD est aussi un apport à l'action de l'AIRD (Agence Inter-Etablissement de Recherche pour le Développement) pour la refondation du système de l'enseignement supérieur et de la recherche d'Haïti, une mission de coordination de la réponse française confiée à cette Agence par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. La problématique soulevée dans le DVD concerne à la fois la communauté universitaire et celle de la recherche, deux secteurs essentiels pour reconstruire le pays mais encore trop faibles qualitativement et quantitativement : dispersion des établissements d'enseignement supérieur, formations généralistes jusqu'à la licence et une recherche publique presque inexistante. Ce DVD constitue un outil concret pour aider à concevoir des enseignements, à programmer des ateliers de recherche et à former l'élite universitaire et scientifique dont le pays a besoin.

Georges De Noni

Introduction

De nombreux pays tropicaux connaissent un ensemble de circonstances ayant abouti à la dégradation du milieu naturel. Parmi les milieux les plus dégradés, les pays montagnards à forte population, vivant le plus souvent sur un foncier insécurisé, manquent aujourd'hui des produits indispensables à leur subsistance. Ils en sont arrivés à la dégradation accélérée des ressources naturelles, à la dégradation du potentiel de production des terres, à l'érosion des terres et la pollution des eaux avec des conséquences parfois dramatiques sur la biodiversité, l'alimentation des populations et l'économie de ces régions, aboutissant parfois au déséquilibre social.

De plus, la succession de plus en plus rapprochée de tempêtes tropicales et de cyclones (peut-être en relation avec le réchauffement climatique) y a entraîné l'appauvrissement extrême des populations rurales (due à la dégradation des terres) et la fragilisation des populations urbaines (inondations et dépôts de boues). Dans ce contexte, il faut se demander si les nombreux projets de lutte antiérosive qui ont été financés dans les Caraïbes et dans les autres régions tropicales, sont parvenus à préserver la qualité de l'eau au niveau des bassins versants et à améliorer la productivité des terres aménagées. Les experts de la FAO (Hudson, 1991) et les chercheurs qui présentent ici leurs résultats émettent un doute justifié par leurs observations dans divers pays du monde.

Par ailleurs, la conservation des sols n'est pas seulement un problème technique : les populations bénéficiaires des aménagements sont directement concernées. Les aspects socio-économiques, administratifs et culturels liés à l'érosion des sols vont orienter le choix des solutions proposées, l'acceptabilité des techniques par les populations et la durabilité des aménagements.

Pour trouver des solutions acceptables à ces problèmes complexes, il faut des études intégrées interdisciplinaires couvrant diverses échelles d'espace et de temps : depuis les champs qui subissent l'érosion, à travers les bassins versants jusqu'aux rives de l'océan où sont concentrés les polluants dans les villes et les sites touristiques.

Le cas de Haïti, mais aussi ceux de Madagascar ou du Maghreb, nous semblent très parlants : le défrichement des forêts pour la production de charbon de bois et de nourriture, a accéléré la dégradation de la fertilité des sols, le ravinement des versants et la pollution des eaux qui vont inonder les plaines habitées et déposer des tonnes de boues dans les villes. Ainsi, les études présentées dans cet ouvrage proviennent non seulement d'Amérique latine, mais aussi d'Asie et surtout d'Afrique et de Madagascar où de nombreux chercheurs ont exploré diverses techniques de gestion conservatoire de l'eau et de restauration de la productivité des sols. Compte tenu de l'extrême nécessité de générer des revenus complémentaires pour répondre aux besoins des millions de petites exploitations familiales, la majorité des parcelles cultivées, le plus souvent sans sécurité foncière et sur forte pente, sont peu protégées des effets dévastateurs des pluies les plus agressives.

Nous nous proposons d'organiser en Haïti, milieu insulaire tropical francophone, un colloque international sur ce thème complexe de l'influence de la lutte antiérosive (LAE) sur la restauration de la productivité des sols et la protection contre les pluies surabondantes qui saturent les sols et provoquent des érosions et inondations catastrophiques.

Un an plus tard, la situation à Port au Prince ne permet pas encore de réunir ce colloque. Nous avons donc décidé d'annuler ce colloque mais de publier une soixantaine de communications sélectionnées par un comité de lecture pour faire circuler les informations disponibles sur ce thème lié

au développement durable des milieux ruraux et à la protection des villes en aval. Suite à l'envoi de 80 projets de communications, le comité d'organisation a sélectionné les six thèmes présentés ci-dessous et retenu 56 communications et une dizaine de communications brèves.

Profitant de l'espace disponible sur ce DVD, nous avons ajouté aux communications une série de documents issus des réflexions des experts sur les réalisations de lutte antiérosive en Haïti. Ce DVD constitue donc aussi une ressource bibliographique très importante (plus de 1000 pages) pour les experts, les Ministères, les ONG, les étudiants et les chercheurs concernés par la gestion durable de l'eau et de la productivité des sols tropicaux.

Thème 1 : Efficacité de la lutte antiérosive sur la restauration de la productivité des sols. Les divers processus d'érosion ont un impact variable sur la productivité des sols. Les techniques de Conservation des Eaux et des Sols (CES) ont pour objectif de gérer les eaux de ruissellement et de ralentir les transports solides dûs à l'érosion hydrique. Les techniques de lutte antiérosive n'entraînent pas forcément l'augmentation de la productivité des sols « conservés ».

Thème 2 : Influence de la lutte antiérosive (techniques culturales, structures antiérosives et reboisement) sur la dynamique de l'eau : de la parcelle au bassin versant. Fonctionnement hydrologique des bassins versants. Caractérisation des cyclones (fréquence, hauteur et intensité des pluies) et adaptation nécessaire des techniques de LAE. Stockage et recyclage du ruissellement : analyse de la valorisation des eaux de surface par les fossés, les banquettes, les terrasses, les seuils de ravines, les citernes et les lacs collinaires.

Thème 3 : Les aspects agronomiques de la Gestion Conservatoire de l'Eau et des Sols (GCES). Gestion de la biomasse, utilisation des litières en surface, fumures organiques et minérales, rotations et cultures associées, billonnage et semis direct sous litière.

Association agriculture - élevage : influences positives et négatives des systèmes et des conduites d'élevage.

Thème 4 : Rôles des arbres dans la GCES en fonction du bilan hydrique régional. Reforestation des versants abrupts, agroforesterie, agro-vergers, production fourragère. Sélection d'espèces indigènes ou introduites.

Thème 5 : Spatialisation des risques en fonction des différents types d'érosion (SIG, indicateurs, simulation). Validation des modèles à partir de mesures de terrain.

Thème 6 : Aspects socio-économiques de la lutte antiérosive. Apports de la GCES à l'économie rurale des bassins versants, coût de l'érosion et des diverses techniques antiérosives, opportunités de développement, influence de la pression foncière et du mode de faire valoir sur l'acceptabilité des techniques de lutte antiérosive par les populations. Planification, participation et valorisation des aménagements. Rôles des politiques publiques dans la gestion de l'environnement.

Comité scientifique

- Eric ROOSE, IRD, Montpellier (France),.....
- Hervé DUCHAUFOR, Université d'Etat d'Haïti (Haïti).....
- Abdellah LAOUINA, Université Mohamed V, FLSH, Rabat (Maroc).....
- Pham QUANG HA, National Institute for Soils and Fertilizers (Vietnam)
- Simone RATSIVALAKA, Université d'Antananarivo (Madagascar) :.....
- Dieter KOENIG, Université de Koblenz (Allemagne) :
- Georges DE NONI, IRD, (Sénégal)
- Evens EMMANUEL, Université de Quisqueya (Haïti) :
- Ophny Nicolas CARVIL, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire, Université d'État d'Haïti (Haïti) :
- Jean ALBERGEL, IRD, Kenya (Kenya) :.....
- Alain LARAQUE, IRD, Montpellier(France) :
- Jean-Marie FOTSING, IRD, Guyane (France) :
- Didier ORANGE, IRD-IMWI (Vietnam) :
- Michel BROCHET, IRC (France) :
- Christian VALENTIN, IRD, Bondy (France) :
- Khalef BOULKROUNE, Agence Universitaire de la Francophonie (France) :

Comité d'organisation

- Hervé DUCHAUFOR, ATF, Université d'Etat d'Haïti (Haïti)
- Eric ROOSE, IRD, Montpellier (France), coordonnateur du Réseau Erosion et GCES de l'AUF (France)
- Evens EMMANUEL, Université de Quisqueya (Haïti)
- Jacques BLAISE, doyen de la Faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire, Université d'Etat d'Haïti (Haïti)
- Jean Vilmond HILAIRE, Université de QUISQUEYA (Haïti),
- Jean Marie THEODAT, directeur régional du bureau Caraïbes de l'AUF (Haïti)
- Ophny Nicolas CARVIL, vice-doyen chargé de la recherche à la Faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire, Université d'Etat d'Haïti (Haïti)
- Jocelyn LOUISSAINT, directeur des Affaires extérieures à la Faculté d'agronomie et de médecine vétérinaire, Université d'Etat d'Haïti (Haïti)
- Bernard SMOLIKOWSKI, attaché de coopération pour le développement, Scac/Ambassade de France (Haïti)
- Khalef BOULKROUNE, Agence universitaire de la francophonie, AUF (France)
- Ogé PIERRE LOUIS, directeur de la Direction des ressources forestières et des sols, ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR – Haïti)
- Myrlène CHRYSOSTOME, USAID (Haïti)
- Yves DUPLAN, PNUD (Haïti)
- Paul VERMANDE, coordonnateur du Réseau Développement Durable et Environnement/AUF (France)

SOMMAIRE

Préface

Introduction

Thème 1 : Efficacité de la lutte antiérosive sur la restauration de la productivité des sols

1.1. Restauration de la productivité des sols tropicaux

E. ROOSE, (IRD, Montpellier)

1.2. Des stratégies traditionnelles pour la lutte contre l'érosion dans les monts Mandara et dans la plaine du Diamare, nord-ouest du Cameroun.

C. SEIGNOBOS (IRD, Montpellier) et M. TCHOTSOUA, (Univ.Ngaoundere)

1.3. Influence du labour, du semis direct et du type de sol sur le stock de carbone, les pertes en terre et les rendements d'une rotation intensive (maïs-coton) au Sud-Mali.

D. DIALLO (IER de Bamako), D. ORANGE et E. ROOSE (IRD)

1.4. Evaluation des effets de systèmes de semis direct sous couverture végétale pérenne (SCV) sur l'érosion hydrique et la production agricole sur les Hautes Terres d'Antsirabé (Madagascar).

C. RAZAFINDRAMANANA, J-M DOUZET, B. BARTHES (IRD), L. RABEHARISOA, A. ALBRECHT (IRD)

1.5. Effect of improved fallow systems on chemical properties and crop yields in the rain forest of SE Nigeria

F.N. IKPE et L.D.GBARANEH (Univ. Port Harcourt)

1.6. Apports organiques et pratiques de conservation de l'eau comme clés de la restauration de la productivité des sols dégradés dans la zone semi-aride du Burkina Faso

E. HIEN (IRD), W. KABORE (Univ. Ouagadougou), D. MASSE (IRD), P. DUGUE (Cirad Montpellier)

1.7. Amélioration de la gestion paysanne de la fertilité des sols des versants cultivés des collines du BV Maniandro (Madagascar)

E. ANDRIAMBELOMANGA, S. RATSIVALAKA (FLSH, Univ. Antananarivo), N. ANDRIAMAMPIANINA (FOFIFA), J.-C. RANDRIAMBOAVONJY, M. ANDRIAMIHAMINA (ESSA, FORÊTS, Univ. Antananarivo)

1.8. Dynamique de l'érosion sous différentes utilisations du sol au niveau d'un versant en zone méditerranéenne subhumide : influence des cultures, des aménagements de GCES et des couvertures forestières en Algérie

B. MORSLI, A. SELADJI (INRF, Tlemcen), O. KACI (Univ. Tlemcen)

1.9. Effets de la GCES sur la production agricole en moyenne montagne méditerranéenne algérienne.

M. ARABI (INRF Médéa) et E. ROOSE (IRD)

1.10. Réhabilitation des sols volcaniques indurés d'Equateur et du Mexique : comportement avant et après mise en culture

Ch. PRAT (IRD), G. DE NONI (IRD), J. ETCHEVERS, A. BAEZ, C. HIDALGO et G. TRUJILLO (Ministère de la Recherche, Equateur)

1.11. Les techniques de cultures en terrasse dans les Monts Mandara (Nord Cameroun)

A. WAKPONOU, M. MAINGUET et F. DUMAY (Univ. Reims)

1.12. Des stratégies traditionnelles de lutte contre l'érosion des sols sur le plateau de Ngaoundere (Nord Cameroun)

M. TCHOTSOUA (Univ. Ngaoundere)

13. Les techniques traditionnelles de GCES et de restauration de la productivité de sols du Rwanda.

F. NDAYIZIGIYE (ISAR, Rubona)

Thème 2. Influence de la LAE sur la dynamique de l'eau : de la parcelle au bassin versant

2.1. Caractéristiques des fortes pluies et des cyclones sur les Antilles. Perspectives en liaison avec le réchauffement climatique.

M. REYAL (Météo-France, Guyane).

2.2. L'observatoire CARAIBE-HYCOS : exemple de coopération transfrontalière sur les ressources en eau.

A. LARAQUE, J.-P. BRICQUET, B. THEBE, (IRD)

2.3. Etat des lieux et proposition de restauration des sols sur le bassin versant de Tondi Kiboro (Niger).

L. DESCROIX (IRD-LTHE Grenoble), Ibrahim MAMADOU, Moussa MALAM ABDOU, Abba. BACHIR, Ibrahim, BOUZOU MOUSSA (FSLH. Niamey), Eric LEBRETON (LPG-CNRS Meudon), Kadidiatou SOULEY YERO

2.4. Processus érosifs et transport solide en milieu tropical insulaire. Cas des bassins versants de la Baie du Robert, Martinique.

N. ROCLE, X. BRAY, A.-Cl. NIVET, J. GRESSER, F.-X. DE LA FOYE (CEMAGREF, Martinique)

2.5. Risques d'inondation urbaine. Cas d'une agglomération à l'aval de versants argileux terrassé dans l'Ouest Algérien.

B. MORSLI (INRF, Tlemcen) et M. HABI (Univ., TLEMEN)

2.6. Comportement de certaines techniques traditionnelles suite aux événements pluviométriques exceptionnels de 2008-2009 dans le Nord Ouest de l'Algérie.

M. MAZOUR, M. BENMANSOUR, M. BOUGHALEM (Univ. Tlemcen)

2.7. Influence des arbres sur les eaux souterraines au Burkina Faso.

S. YAMEOGO (Univ. Ouagadougou)

2.8. La gestion du risque érosif cyclonique par les Tanala. Opportunité et limites des techniques traditionnelles pour l'adaptation au changement climatique à Madagascar.

G. SERPANTIE (IRD), A. RAKOTONIRINA (Univ. Antananarivo)

2.9. Effets des systèmes de cultures bananières sur un sol brun tropical volcanique sous des simulations de pluies cycloniques en Martinique

B. KHAMSOUK (Cirad), E. ROOSE (IRD), E. BLANCHART (IRD), M. DOREL (Cirad), L. RANGON (IRD), J.-J. BANIDOL (Cirad)

2.10. L'épisode pluviométrique du 15 juin 2010 dans le Var, (France) : précipitations, crues et inondations.

Cl. MARTIN (Univ. Aix)

Thème 3. Aspects agronomiques de la Gestion conservatoire de l'eau et des sols.

3.1. Les cultures associées traditionnelles à l'échelle du champs : une technique biophysique raisonnée de valorisation des intrants.

S. VALET (ONG. Passerelles)

3.2. Le soya : une option pour rassasier les sols et les fermiers du Kenya.

I. VANDEPLAS, B. VANLAUWE, J. DECKERS, R. MERCKX (Univ. Catho. Louvain).

3.3. Impacts agronomiques, économiques et environnementaux de quelques amendements organiques à Nkolondom, Yaoundé (Cameroun).

E. SEH NGOUN (CRESA, Yaoundé), M. OMOKO (FASA, Dchang), S. SIMON (Cirad)

3.4. Aménagements hydro-agricoles permettant la conservation des eaux et la restauration de la productivité des sols de Gros Morne en Haïti.

M. BROCHET, CH. LILIN, SAINTIL CLOSSY

3.5. Influences de la fertilisation et de la gestion de la biomasse sur la production de couverts permanents en milieu montagnard tropical densément peuplé (Burundi).

H. DUCHAUFOUR (ISABU, Burundi)

3.6. Influence de la conduite de la bananeraie et du paillage sur l'érosion en Martinique sur sols brun -rouille à halloysite.

R. ACHARD et H. ANTOINE (CIRAD, Martinique)

3.7. Effets de l'élevage sur les risques d'érosion en COLOMBIE.

M. HERMELIN et A.F. ARISTAZABAL (U.EAFIT Medellin).

3.8. Cultures associées traditionnelles multi-stratifiées: une technique biophysique empirique d'exploitation écologique et de protection de l'environnement (montagnes du SO du Cameroun) ;

S. VALET (ONG Passerelle)

3.9. Potentiel de restauration de la qualité des sols sous agriculture de conservation au Maroc.

R. MRABET et R. MOUSSADECK (INRA, Tanger)

Thème 4. Rôle des arbres dans la GCES en fonction du bilan hydrique régional

4.1. Influence de l'agroforesterie sur l'érosion hydrique et la restauration de la productivité des sols ferrallitiques acides du RWANDA

D. KÖNIG, (Univ. KOBLENZ).

4.2. Performances de certaines légumineuses arbustives dans la station INERA de KIPOPO, RDC Congo ;

J-P. JOS MULAMBA, (INERA, Kinshasa, Congo)

4.3. Les avantages environnementaux et socio-économiques d'un reboisement de 8000 ha sur le Plateau Bateke, Kinshasa (Congo RDC)

N. SHUKU ONEMBA...(KINSHASA, CONGO RDC)

4.4. Effets de diverses jachères arbustives légumineuses sur l'amélioration de la conductivité hydraulique du sol et de sa productivité (Manankazo, Madagascar).

M-A. RAZAFINDRAKOTO (ESSA Univ. Antananarivo)

4.5. Rôles des haies vives antiérosives sur la gestion de l'eau, du sol et le rendement des cultures du centre Sud arachidier du Sénégal.

M. DIATTA, E. FAYE (Isra, Dakar), M. GROUZIS (IRD), P. PEREZ (Cirad)

4.6. Effets des plantations forestières sur banquettes sur le ruissellement et l'érosion par rapport aux parcours dans les montagnes semi-arides du Haut-Atlas, Marrakech (Maroc).

A. CHEGGOUR (Univ. Marrakech), V. SIMONNEAUX (IRD Toulouse), E. ROOSE (IRD Montpellier)

4.7. Potentiel du *Jatropha curcas* pour le développement économique, le reboisement et l'aménagement de bassins-versants en Haïti.

G. PRESSOIR

4.8. MAMPU, sur les plateaux Bateke en R.D.Congo, le projet qui réconcilie agroforesterie et production de bois-énergie.

F. BISIAUX, R. PELTIER (Cirad) et J.-Cl. MULIELE (projet agroforestier)

Thème 5. Spatialisation des risques de divers types d'érosion (SIG)

5.1. Intégration des familles paysannes haïtiennes dans la lutte antiérosive à travers la cartographie participative.

F. DELERUE (AVSF)

5.2. Evaluation des pertes en terre en région de montagne tropicale humide : massif volcanique des Bambouto, Ouest Cameroun.

O. LEUMBE (INC Yaoundé), D. BITOM (Univ. Yaoundé), R. ASSAKO (ENS. Yaoundé)

5.3. Utilisation des SIG pour l'aménagement du bassin versant de l'ISSER (Nord Ouest de l'Algérie)

M. BOUGHALEM, M. MAZOUR (CES Univ. Tlemcen), M. ZAAGANE (Géomatique Univ. MASCARA)

5.4. Estimation du risque d'érosion dans un bassin versant agro-sylvicole, province de Phu Tho (Nord Vietnam).

T. NGUYEN VAN (IAE, Hanoi), S. POMEL (CNRS Bordeaux), Ha PHAM QUANG (I.AGRIC-ENV.Hanoi)

5.5. Evaluation qualitative et quantitative de l'érodibilité de différentes unités paysagères représentatives du Burundi : de la parcelle au micro-bassin.

H. DUCHAUFOR et C. MIKOKORO (ISABU, Bujumbura)

Thème 6. Aspects socio-économiques de la lutte antiérosive

6.1. Perception paysanne de la dégradation des terres et des types d'érosion : impacts des programmes de LAE sur la restauration de la productivité des sols de Madagascar.

S. RANDRIAMANGA RATSIVALAKA (FLSH, Univ. Antananarivo)

6.2. Perception de la banquette antiérosive fruitière par les utilisateurs dans le Moyen Atlas (MAROC).

R. PELTIER, M. SABIR, C. LILIN, A. ODDI, F. SCHNEIDER, F. Amia, D. KÜBLER, TK. WIESINGER, A. MENGONE-ANGO (Cirad Montpellier, Enfi-Salé, Engref-Montpellier)

6.3. Aspects socio-économiques des techniques traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols (CES) dans la région de Beni Sous, Tlemcen (NO Algérie).

N. ZEKRI-BELLAHCENE, M. MAZOUR, B. SALHI, M. TRANDJI (Univ. Tlemcen)

6.4. Agriculture sur pentes au Vietnam : une nécessité pour la sécurité alimentaire et un risque pour la durabilité du système agricole.

D. ORANGE, Ha PHAM QUANG, Toan TRAN DUC, FL. CLEMENT, P. JOUQUET, Nguyen DUY PHUONG, Nguyen VAN BO (IRD / IWMI Hanoi)(IAE Hanoi, SFRI Hanoi, VAAS, Hanoi).

6.5. History & economics of Soil & Water Conservation (SWC) in Jamaica (1960-2000).

J. LINDSAY, M. WALKER (UNIV. MONA , JAMAICA), J. DE GRAAFF(UNIV. WAGENINGEN, THE NETHERLANDS)

6.6. Aspects socio-économiques et démographiques du développement durable de la société rurale du BURUNDI.

H. DUCHAUFOR (Coopération française).

6.7. Effets des crises politiques au Burundi sur l'érosion dans la région du MIRWA CENTRAL (Burundi).

Th. RISHIRUMUHIRWA (Fac. Agro. Burundi)

6.8. Notion de transfert ville--campagne à Port -au- Prince (Haïti) : en quoi la ville peut-elle apporter une valeur ajoutée pour la campagne par la gestion de ses déchets organiques et de la campagne vers la ville par la production de produits alimentaires.

JC. FERNANDES, J. DENIS, E. EMMANUEL, J. LACOUR, H. DUCHAUFOR, P. VERMANDE, R. BAYARD
(univ. Quisqueya, Port au Prince, FAMV, Haïti, LGCIE, Univ. et INSA Lyon).

6.9. Le paysan haïtien et la Lutte antiérosive (LAE) depuis 50 ans : un bilan.

G. R. SMUCKER

6.10. Stratégie de LAE dans la Sierra Madre Occidentale (Mexique).

J-L. GONZALES BARRIOS (INIFAP), L. DESCROIX (IRD)

6.11. Synthèse des principaux éléments des bilans effectués durant les quinze dernières années en Haïti.

A. BELLANDE

7. CONCLUSIONS GENERALES

7.1. Conclusions principales des communications des six thèmes.

E. ROOSE et H. DUCHAUFOR

8. RESUMES

8.1. Récupération des terres dégradées dans les communes de Bitinkodji et Namaro (Niger) par approche participative des populations locales.

I. AMADOU, S. SEYNI, M. ABBA (Projet lutte contre l'ensablement)

8.2. Pratiques paysannes et gestion du terroir d'Antatanikarefo , périphérie urbaine de Antananarive.

M. T. ANDRIATSARAFARA et S. RATSIVALAKA (FLSH, Géographie, Univ. Tananarive)

8.3. Infiltration capacity of mined soils reforested with *Acacia and Casuarina* in the Dominican Republic

C. CRUZ

8.4. Le bassin versant : institutionnaliser et planifier la GCES en Haïti.

Y. Jamont DUPLAN

8.5. Modification du ruissellement et des pertes en terres suite à l'abandon d'une culture annuelle (manioc) au profit de plantations agroforestières dans des périmètres villageois sur forte pente au Nord Vietnam.

P. PODWOJEWSKI, D. ORANGE, P. JOUQUET, Th. HENRY DESTUREAUX, Van Thiet NGUYEN, Pham Van RINH, Do DUI PHAI, Tran Duc TOAN (IRD, Soils & Fertilizers Institute)

8.6. Influences des arbres sur le stock de carbone du sol et les risques d'érosion et de ruissellement dans les montagnes du Maroc.

M. SABIR (ENFI Salé Maroc), E. ROOSE (IRD Montpellier)

8.7. Analyse des facteurs d'érosion des sols selon le modèle USLE de Wischmeier et Smith, 1960. Cas de Laplate, 1^{re} section communale du Bassin Bleu (Département du Nord Ouest d'Haïti).

D. SADRACK

8.8. Aspects socio-économiques de la lutte antiérosive au Sénégal.

Ibra SENE

Ressources bibliographiques : autres documents sur la lutte antiérosive en Haïti

1. Rapports de M. Brochet sur le projet SOS-ESF de Gros Morne en Haïti
 - 1.1. Présentation de SOS-ESF en octobre 2009 (36 p.)
 - 1.2. Aménagements hydro-agricoles et GCES : diaporama de la communication (55 p.)
 - 1.3. Eveil à l'environnement : diaporama sur le projet de développement de Gros Morne (24 p.)
 - 1.4. Rapport final 2010 : dév. de l'arboriculture fruitière dans le bassin versant Gros Morne (48 p.)
 - 1.5. Annexes photos décembre 2010 (49 p.)
 - 1.6. Etude de cas : ravine Bois Scié : GCES (28 p.)
 - 1.7. SOS-ESF : Projet de développement durable à Gros Morne(2006) (06-1) (54 p.)
 - 1.8. Diaporama : bilan des seuils (06-2) (47 p.)
 - 1.9. Compte rendu final 2007 : correction ravines (08-1) (39 p.)
 - 1.10. Illustration Caye Epin, 2009 (09-2) (84 p.)
2. CIAT Haïti : colloque juin 2011
 - 2.1. G. SMUCKER : Vulnérabilité dans les bassins versants avant le 12 1 2010 (64 p.)
 - 2.2. R. TOUSSAINT : Situation dans les bassins après le 12 1 2010 (19 p.)
 - 2.3. G. DAMAIS : Principaux vecteurs de la vulnérabilité dans les bassins (8 p.)
 - 2.4. A. BELLANDE : Historique des interventions sur les bassins : les leçons apprises (5 p.)
 - 2.5. E. DOUARZIN : Pour une politique de gestion intégrée des bassins : développement durable (15 p.)
 - 2.6. CHRISOSTOME : Investissements en cours dans les bassins : typologie, caractérisation (16 p.)
 - 2.7. Mathieu OXFAM : Gestion durable des écosystèmes de montagnes : marchés (10 p.)
 - 2.8. HOPGOOD : Développement économique pour un environnement durable (10 p.)
 - 2.9. MICHEL : Programme d'informations territoriales pour le développement durable (22 p.)
 - 2.10. ERBY : Eléments du plan d'aménagement du bassin versant du Cul de Sac (19 p.)

2.11. Y. DUPLAN : Gestion des BV et des aires protégées : initiatives et perspectives	(6 p.)
2.12. NEPTUNE : Méthode de diagnostic de l'état des BV dans le Sud Est de Haïti	(15 p.)
2.13. LEVY : Initiative Régénération de Haïti(HRI) schéma de développement durable	(22 p.)
2.14. SEMINARIO : Les bassins versants de Haïti	(66 p.)
2.15. DUBOIS : Gestion des bassins versants et développement de l'élevage	(17 p.)
2.16. BROCHET M.: Dynamique de développement : projet Gros Morne et Caye Epin	(54 p.)
3. Ministère de l'agriculture et du développement rural :	
3.1. Manuel pratique de conservation des sols d'Haïti	(75 p.)
3.2. Techniques de traitement des ravines	(58 p.)
4. Panorama des méthodes d'analyse de l'érosion dans un contexte insulaire	(28 p.)
5. Importance de la recherche pour le développement de l'agriculture haïtienne : ex gestion des bassins versants H.DUCHAUFOUR	(60 p.)
6. Avancée du trait de cote de la Baie du Marin (Martinique) : conséquence de l'activité anthropique P. SAFFACHE	(6 p.)
7. Origine du ruissellement et de l'érosion sur sols bruns à Halloysite de Martinique. Premières observations sous bananiers. E.ROOSE, B. KHAMSOUK, A. LASSOUDIERE, M. DOREL	(9 p.)
8. Validation des estimations de l'aléa érosion des sols à l'échelle européenne VAN ROMPAYE, V.VIEILLEFONT, R. JONES, L.MONTANARELLA, G. VERSTRATEN, P. BAZZOFFI, T. DOSTAL, J. KRASA, J. DEVENTE, J. POESEN	(41 p.)
9. Les choix techniques pour le traitement des ravines. Ch. LILIN	(15 p.)
10. Expérimentations sur la lutte antiérosive et la revégétalisation assistée d'un versant décapé de la réserve naturelle de la Caravelle en Martinique E.ROOSE, N. VENUMIERE, P. LAUNE, J.LOURI, et R. RAVELA	(27 p.)
11. Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la Baie du Robert en Martinique K. PINTE,	(184 p.)
12. Impact socioéconomique de la dégradation des terres en Haïti. Interventions pour la réhabilitation du milieu cultivé. Rapport final du programme PAGE	(83 p.)
13. Exploring how to prevent potential cross border environmental-based conflicts: Haiti-Dominican Republic M. GUERRIER A. , ICAR, Virginia USA	(33 p.)
14. La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haïti : cas du transect Petite Rivière de Nippe – Salagnac - Aquin dans le sud d'Haïti B. Smolikowski, 1993, Cah.Orstom Pédol., 28, 2 : 229-252.	(25 p.)
15. Méthodologie de delimitation cartographique des bassins versants Rapport LGL SA	(103 p.)
16. Guide méthodologique pour les etudes de diagnostic des bassins versants Rapport final Ciat	(52 p.)
17. An analysis of farming practices Thèse P. Rosseau	(172 p.)

T h è m e 1

Efficacité de la lutte antiérosive sur la réhabilitation de la productivité des sols

La conservation de l'eau et des sols (CES) a été développée par H. Bennet aux USA depuis les années 1930 pour réduire les influences néfastes de l'érosion hydrique sur la qualité des eaux de surface et sur l'érosion des sols cultivés. Depuis lors, des sommes importantes ont été dépensées dans le monde et en particulier dans les pays tropicaux, pour réduire les problèmes d'érosion et protéger la qualité des eaux de surface.

Mais on peut se demander si ces aménagements divers destinés à réduire l'érosion (banquettes, terrasses, diguettes, chemins d'eau, travaux du sol variés) ont augmenté la productivité des terres aménagées et limité les inondations, les glissements de terrains et l'envasement des lacs lors des averses cycloniques ou de fréquence rare ? Les contributions à ce colloque nous montrent que l'on n'a pas atteint ces objectifs.

Or les problèmes de famine ont refait surface récemment à la faveur de la croissance démographique des pays émergents, de la mondialisation de l'économie et des changements climatiques. Il est donc urgent de bien distinguer les techniques capables de restaurer rapidement la productivité des sols dégradés par l'érosion ou épuisés par les cultures qui ne restituent pas suffisamment les nutriments exportés.

Pour documenter cette thématique, nous avons donc rassemblé dans cette partie une douzaine de communications qui rapportent les résultats expérimentaux de ces 20 dernières années de recherche sur les possibilités d'améliorer la productivité des sols dispersés sous divers climats et valorisés par divers systèmes de production .

En conclusion de cet ouvrage, on trouvera les six règles permettant la restauration rapide de la productivité des terres agricoles épuisées.

Restauration de la productivité des sols tropicaux

Eric Roose

UMR 210 Eco&sol, centre IRD, BP 64501 F 34394, Montpellier cedex 5, France. Courriel : Eric.Roose@ird.fr

Résumé.

Dans les milieux scientifiques, il est coutume de dire que le sol est une ressource naturelle non renouvelable : d'où des discours pessimistes sur l'avenir de la planète et de nombreux travaux sur la dégradation des sols. Or plusieurs expériences paysannes ou scientifiques montrent qu'en milieu tropical il est possible d'accélérer l'altération de certaines roches et de restaurer la capacité de production de sols dégradés par les cultures ou décapés par l'érosion. L'analyse de treize cas montre que pour restaurer rapidement la productivité de ces sols il faut respecter six règles : 1/prévoir une gestion adéquate des eaux de surface (cordons de pierres, haies, cuvettes) 2/rouvrir la macroporosité et la stabiliser (travail du sol et enfouissement de matières organiques), 3/ revitaliser l'horizon de surface par l'apport de matières organiques fermentées, 4/nourrir les plantes, 5/ adapter le pH du sol et 6/choisir des végétaux bien adaptés aux conditions locales mais non envahissants. Cet investissement (travail + fumure organique et minérale) n'est acceptable que si l'amélioration des revenus est sensible et les conditions socio-économiques (pression démographique et marché où écouler la surproduction) durables.

Mots clés : restauration, productivité des sols tropicaux, réhabilitation des systèmes sol-végétation

Abstract.

Scientists commonly declare that soils are a not renewable resource and are pessimistic concerning the potential of soil restoration: therefore the studies concerning the degradation processes are abundant. Nevertheless, many farmers or scientists have shown that, in tropical areas, it is possible to accelerate the weathering of certain rocks like shale, argillite, marl, basalt. It seems possible to restore in a few years the productivity potential of degraded or eroded soils. In this paper, the author analyses 13 study cases showing that it is possible to restore rapidly the productivity of certain soils if six general rules are respected: 1/a good management of superficial waters, 2/opening the macro-porosity by deep tillage and stabilising the structure, 3/ revitalising the upper horizon with 3t/ha of manure or compost, 4/ regulate the pH between 5 & 8, 5/ insure a good nutrition of cultivated plants and 6/ select a good vegetative cover well adapted to local conditions but not invading the country. This investment (labour, organic + mineral fertilizers) is only acceptable if the net income is improved and the market durable.

Keywords: Soil restoration, tropical soils productivity, soil-vegetation systems rehabilitation

Introduction

Seuls les systèmes forestiers et les savanes protégées des feux et du surpâturage sont des systèmes de production capables de maintenir ou d'améliorer la fertilité des sols tropicaux : leur mise en culture entraîne forcément leur dégradation à plus ou moins court terme (Roose, 1994, Conedera et al., 2010). En effet, dès le défrichement et la disparition des litières, on observe une décroissance rapide des matières organiques du sol (MOS) et un début de dégradation chimique, biologique et physique des horizons de surface. Le feu minéralise brutalement les litières, redresse temporairement le pH, mais rejette du CO₂ et des cendres lesquelles sont soufflées par le vent ou lessivées lors des premiers orages. Le labour à son tour

introduit de l'oxygène dans le sol, accélère la minéralisation des MOS et mélange les horizons humifères et minéraux sous-jacents : à court terme, le travail du sol réduit les activités de la faune (vers de terre en particulier). Les sols sableux cultivés perdent 50% de leur MOS en 4 ans et les sols argileux en 10-15 ans. Au total, les sols cultivés deviennent à la fois moins productifs et moins résistants à l'énergie des pluies (Roose, Barthès, 2006). On comprend dès lors les efforts de mise au point de systèmes de semis direct dans la litière gardant le sol couvert : après tout, « on n'a jamais labouré les sols sous forêt » : les activités de la faune et de la flore suffisent à maintenir dans les sols forestiers de bonnes conditions pour la croissance des plantes (Roose, 1994).

Les pédologues enseignent que le sol est une ressource naturelle non renouvelable à échelle humaine. C'est vrai lorsque l'érosion a détruit le mince horizon humifère qui couvre une roche dure, comme les calcaires ou les granites : en effet il faut 200 à 300 000 ans pour altérer un mètre de granite (Leneuf, 1959). C'est beaucoup moins vrai pour certaines roches tendres comme les argilites, marnes, grès et schistes tendres, et même pour le basalte qui produisent 0.5 m d'altérite en moins d'un siècle. Aussi des paysans astucieux ont développé divers systèmes de création de sols nouveaux à partir d'altérites ou de cendres volcaniques minérales. Il existe aussi des jachères pour restaurer la productivité des sols dégradés par la culture (Floret et Serpantié, 1991) et des techniques traditionnelles permettant de réhabiliter des sols érodés comme le paillage, l'agroforesterie, la fumure organique et minérale (cendres) ou encore le zaï, technique complexe faisant intervenir le stockage de l'eau dans le sol, la fumure organique (et minérale), les termites et le travail du sol en zone soudano-sahélienne (Roose, 1994 ; Sawadogo et al., 2008).

Pour les écologues, la « restauration » au sens strict, consiste à interrompre les facteurs de dégradation pour permettre au milieu de retrouver naturellement la flore et la faune primitives et plus tard les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols originaux (Aronson et al., 1993). Ceci fait appel à la résilience du milieu naturel, ce qui peut prendre beaucoup de temps et ne satisfait pas forcément aux conditions optimales de production des cultures : certains sols forestiers sont par exemple trop acides et inaptes à la production intensive de la majorité des légumineuses tropicales.

Dans ce document, nous parlerons de manipulations vigoureuses mais simples en vue de restaurer rapidement la productivité des sols dégradés, leur permettant de remplir correctement leur rôle premier, à savoir l'alimentation des populations rurales. (Roose, 1993 ; Sawadogo et al. 2008 ; Conedera et al 2010).

1. Création de nouveaux sols productifs sur roches altérées.

En Haïti, les sols argileux sur basaltes cultivés sur pentes sont souvent sujets à un fort ruissellement et à une érosion linéaire intense : en quelques années, le labour remonte des cailloux et le sol est abandonné (Smolikowski, 1993). Mais certains paysans plus débrouillards rachètent ces « terres mortes », y creusent tous les 2 à 4 m. en quinconce à la barre à mine des trous (100 litres) qu'ils remplissent d'un mélange de terre fine et de fumier : ils y plantent un arbre (fruitier) et des légumineuses rampantes. Des petits sillons y concentrent les eaux de ruissellement. Par ailleurs, ils élèvent un animal (chèvre ou cochon) dans une fosse voisine où s'accumulent leurs déjections qui, mélangées à la litière, vont produire le fumier indispensable pour redonner vie aux altérites. En une dizaine d'années, la parcelle traitée « en cuvettes » où sont concentrées les eaux de ruissellement, les déjections animales, les résidus végétaux et les terres érodées, reconstitue un milieu productif.

Au Mali, les *Dogons*, forcés au XVII^e siècle de vivre dans les falaises gréseuses pour échapper aux envahisseurs musulmans des plaines, ont reconstitué des sols sur des bancs subhorizontaux de grès en y construisant des cordons de pierres « en nids d'abeille » (hexagonaux) et en y coulant du sable prélevé dans la plaine voisine et du fumier (Kassogue

et al., 1996). Chaque logette couvrant 1 m² est plantée en oignons doux appréciés à 100 km alentour et irriguée à l'aide d'une calebasse remplie dans un micro barrage collinaire voisin.

Au Nord Cameroun, dans les monts Mandara, les Mofu dans des situations semblables mais au milieu de chaos granitiques, accélèrent la formation de petites parcelles cultivées en terrasses grâce à des murets de pierres, des apports de fumier et de sables, à l'action simultanée de plantes choisies pour leur enracinement s'infiltrant dans les fissures des roches (sorgho, mil, *Cynodon dactylon*, divers fougères et plantes fourragères), introduisant du fumier et des boutures de *Ficus* ou d'*Acacia polyacantha* dans les fissures. Des feux sont allumés à la base des boules de granite pour qu'elles éclatent et se désagrègent en particules sableuses (Seignobos, 1998).

Au Mexique, Quantin, Prat, Zebrowski (1993) et en Equateur De Noni, Viennot (1993), ont restauré des cendres volcaniques indurées (tepetate) par roto-rotation (fragmentation mécanique), terrassement et fertilisation d'une rotation alternant céréales (blé, maïs) et légumineuses (vesces, fèves, haricots) : dès la troisième année, les rendements sont du même ordre que sur les terres profondes.

Au Salvador, Collinet et Mazariego (1993) ont restauré la structure et la productivité d'un andosol sur cendres volcaniques brutes en y introduisant du fumier de poule et des feuilles de *Gliricidia sepium*.

En Martinique, des études expérimentales ont tenté de restaurer la végétation naturelle et réduire l'érosion d'un versant décapé qui menace la vie des coraux dans la baie voisine de la réserve naturelle de la Caravelle. Une première tentative en 1995, a échoué qui a opposé des dosses de *Mahogany* fichées perpendiculairement au ruissellement : celles-ci ont capté quelque 34 t/ha de sédiments, lesquels ont détourné le ruissellement en nappe et relancé l'érosion linéaire concentrée dès la deuxième année. Très peu de plants forestiers ont survécu dans ces poches de sédiments sableux très acides et pauvres en azote, en matières organiques et en phosphore assimilable. Suite à une convention entre le PNRM et l'IRD (Roose et al., 2005), cinq ravineaux (Surface= 67 à 130 m²) ont été isolés sur un versant de lave acide décapée jusqu'à l'altérite (ocre, blanche et rouge). Une fosse de 1m³ a permis de capter les terres de fond érodées, une partie du ruissellement et de sa charge en suspension fine, en vue d'estimer le potentiel d'érosion de ces terres nues (120t/ha/an selon le modèle USLE) et l'efficacité d'une technique écologique de restauration (épandage d'une litière de bagasse de canne à sucre (2 à 3cm). Durant 3 années peu pluvieuses (1500 à 750 mm), le paillage a réduit l'érosion à néant (au lieu de 25 à 39 t/ha/an) et le ruissellement de 50% (Cram de 11 à 32% et CRmax de 20 à 40% sur sol nu) sur ces pentes raides (45 à 60%). Cependant la troisième année, le paillis étant en grande partie minéralisé, l'érosion a réapparu progressivement (4 à 20 t/ha en fonction du couvert végétal développé par les herbes naturelles et les arbustes plantés sous le paillage). Pour prendre le relai du paillis en voie de minéralisation, quatre espèces locales d'arbustes ont été plantées dans des cuvettes (40x40 cm). Tous ont souffert de la sécheresse exceptionnelle de ces trois étés mais surtout les *Courbaril* (*Hymenaea courbaril*) et les *Poiriers* (*Tabebuia heterophylla*). Les *Zicaques* (*Chrysobalanus icaco*) ont relativement bien résisté, de même que les *Acacia farnesiana*, touffes basses poussées naturellement. Les boutures de *Gliricidia sepium* qui ont trouvé une fissure et un peu de terre ont bien poussé, mais le couvert des arbustes au bout de 3 ans n'excédait pas dix %. Un tiers des potets n'a reçu que des roches pourries et le paillis : tous les plants sont morts car le milieu est trop pauvre et trop acide). Le deuxième tiers a reçu dix litres de compost et les plants ont mieux résisté à la sécheresse. Enfin les plants ont mieux poussé dans le 3^{ème} tiers qui a reçu dix litres de compost + NPK. Globalement, plus de 50% des plants arbustifs sont morts, soit qu'ils ont reçu beaucoup trop de paillis, beaucoup d'eau, soit que les sols étaient très érodés : de plus les *Cassythes*, parasites couvrant la canopée, ont encore affaibli les jeunes plants.

Bien que la bagasse ait été offerte gracieusement par l'usine la plus proche, le transport de 50t/ha de bagasse humide sur 10km et surtout sa répartition sur ces pentes abruptes a coûté 7000 €/ha. Il faudrait donc envisager de réduire le volume de litière en l'épandant en ligne sous les plantations, de mécaniser l'épandage et de sélectionner des espèces végétales mieux adaptées à ce milieu très pauvre : mais la restauration du couvert végétal est possible par ce système de gestion intégrée de l'eau et des sols.

En conclusion, si les pressions socio-économiques sont fortes et durables, les populations rurales développent des techniques complexes capables d'accélérer l'altération des roches et la construction de nappes pédologiques en conjuguant diverses actions biologiques aux apports minéraux et organiques permettant aux cultures de se développer.

2. Méthodes traditionnelles de réhabilitation de sols dégradés.

2.1. La jachère.

La méthode la plus courante pour restaurer la fertilité des champs devenus improductifs est la jachère longue où les graminées restaurent la structure du sol grâce au chevelu racinaire qui emballe chaque agrégat et aux racines profondes des arbres/arbrustes qui ramènent en surface (litière) les nutriments emportés par les eaux de drainage (Floret et Serpantié, 1991). Pour faire face à la pression démographique, les paysans ont développé des jachères fourragères courtes dont une partie de la production de biomasse est exportée mais les racines et les souches restent sur place. Une étape supplémentaire a été franchie quand on a choisi des légumineuses et autres plantes qui fixent l'azote de l'air et protègent efficacement la surface du sol contre les pluies et le soleil (Roose, 1991).

Au sud du Bénin sur les terres de barre, dans une zone à forte population, la rotation entre le maïs en première saison des pluies et une jachère courte (8 mois) à *Mucuna pruriens*, replantée en maïs dès l'année suivante, a permis de réduire le ruissellement et l'érosion, de relever le taux de SOM et les rendements de 0.2 à 2.8t/ha/an de maïs-grain (Azontonde, 1993). Selon l'aridité du milieu, la richesse minérale des roches et l'état de dégradation, la réhabilitation de la productivité du sol par la jachère prend 10 à 50 ans, mais en la protégeant on peut réduire ce temps à moins de 2 ans.

2.2. La restauration des sols ferrallitiques acides par le paillage des bananeraies.

Au Burundi central (Station de Mashitsi), suite à trois années de mesure de l'érosion en parcelles (300 m²), on a testé l'arrière effet de l'érosion cumulée de 0,1 t/ha/3 ans après paillage complet, 17 à 54 t/ha/3ans après bananeraies denses à lâches, et 154 t/ha/3ans sur sol nu sans paillage. La 4^{ème} année, on a subdivisé en quatre chaque parcelle et semé du maïs uniformément. Le bloc témoin n'a reçu aucun nutriment : on n'a pas récolté de grain après sol nu, 600 kg/ha après bananeraies et 1500 kg/ha de grain après paillage complet (comme après défrichement de la forêt primitive). L'érosion a donc des arrière effets sur le potentiel de production du sol les années suivantes.

Sur les trois autres blocs, on a testé trois techniques de restauration de ces sols acides dégradés par divers niveaux d'érosion sélective en nappe : R1 = 20t/ha de fumier frais, comme font les paysans, R2 = 10t de fumier + NPK complémentaires et R3 = idem + 200 kg/ha de chaux pour réduire l'acidité et la toxicité aluminique du sol. Sur la parcelle la plus dégradée, le rendement maximal fut 500 kg/ha de maïs. Sur la parcelle la mieux protégée, on a récolté 3000 kg/ha de grain après fumier et 4000kg/ha après fumier + NPK complémentaire. Sous bananeraie à paillage intermédiaire, les rendements furent aussi intermédiaires. Curieusement sur ces sols très pauvres, l'apport de chaux a eu un effet dépressif sur les rendements et sur le phosphore assimilable. L'érosion en nappe a donc un effet durable sur la productivité des sols (Rishirumuhirwa, 1993). L'apport de MO et d'une fumure minérale

complémentaire adaptée à la plante cultivée permet de multiplier par 8 le rendement en grain de maïs. Voir figure 1.

Au Rwanda (stations de Rubona et de Butare), sur le même type de sol et des pentes de >25%, des haies vives d'arbustes légumineuses (*Calliandra et Leucaena*) ont réduit le ruissellement ($C_{ram} < 2\%$) et l'érosion ($E < 2t/ha/an$) et apporté 100 kg/ha de N, dix kg/ha de P, et environ 40 kg/ha de Ca+Mg+K. Mais, malgré la bonne conservation de l'eau et des sols, le rendement des cultures (maïs et haricots) n'a progressé qu'à partir du moment où on a rajouté du fumier de ferme ou du NPK minéral. On constate donc que certaines cultures bien soignées peuvent réduire l'érosion sans pour autant donner plus de grains (Roose, Ndayizigiyé et Sekayangé, 1993 ; König, 2005). Fig 2.

2.3. Restauration des sols ferrugineux sableux en zone soudano-sahélienne.

Au Nord Cameroun sur sol ferrugineux sableux, la gestion des résidus enfouis par le labour n'a guère amélioré l'infiltration, ni les pertes en terre : en 4 ans, l'érosion cumulée sur un sol de 2% de pente atteint 160t/ha (10 mm) sur parcelle nue, 90 t/ha/4ans (6mm) sur rotation maïs-coton après labour annuel, et 30 t/ha/4ans (2mm) sous les mêmes cultures mais sans labour. La 5ème année, on a semé partout du maïs et observé ici aussi l'arrière effet de l'érosion en nappe sélective : pour une différence d'érosion en nappe de 4 mm, les rendements ont baissé de 40% par rapport au système de semis direct sur litière. On atteint la même différence sur des parcelles voisines où l'on avait décapé (non sélectivement) 4 cm : l'érosion en nappe sélective est donc dix fois plus dégradante qu'un simple décapage non sélectif (l'érosion en rigole ou en masse).

Par ailleurs, l'apport de 3t/ha/an de fumier de chèvre et du complément minéral indispensable a permis de produire 1.8 t/ha de coton grain et 4 t/ha/an de maïs sur des sols sableux dégradés par 30 années de culture avec labour. Des rendements semblables ont été obtenus après jachère de légumineuse (*Mucuna pruriens*), complément de fertilisation minérale et travail du sol limité à la ligne de plantation. La restauration de la productivité de ces parcelles sableuses abandonnées est remarquable.

2.4. La restauration des sols en zone soudano-sahélienne par le Zaï. Après 10 à 15 ans de culture extensive et labour, le sol nu épuisé est abandonné. Il se couvre alors d'une épaisse croûte d'érosion quasi imperméable qui empêche la régénération de la végétation par la jachère: plus de 20% des terres cultivables sont ainsi désertifiées en pleine zone soudano-sahélienne : plus rien n'y pousse malgré 400 à 800 mm de pluie en 4 à 6 mois. Ce sont ces « zipellés » (terres blanches désertifiées) qui sont récupérés lorsque la population manque de terre. En pleine saison sèche, les « sans terres » y creusent de 8 à 12 000 petites cuvettes de 20 cm de profondeur, 40 cm de diamètre dont la terre est disposée en demi-lune en aval. Le paysan y enfouit 1 à 3 t/ha de fumier (en général des poudrettes de caprins) ou à défaut de résidus organiques et sème en sec 10 à 15 graines de sorgho ou de mil (assez pour soulever la croûte qui va se produire au fond de la cuvette). Aux premières pluies, les cuvettes vont capter le ruissellement et sa charge en nutriments et stocker une grande poche d'eau dans le sol permettant aux plantes de tenir trois semaines sans pluie. Dès la première année, le champ produit autant que la moyenne régionale (600 kg/ha), mais avec un complément de N60+P30, on peut atteindre 1500 kg soit 8 fois la production sans Zaï (Roose et al., 1993). Figure 3.

3. Conclusions.

3.1. *Les six règles pour restaurer rapidement la productivité d'un champ.*

Il est possible de restaurer rapidement la capacité de production des sols en respectant certaines règles :

1. capter le ruissellement par un dispositif adapté : haies, cordons de pierres, paillis, Zaï, etc. ;
2. recréer la macroporosité et la structure du sol par un travail profond enfouissant des MO ;
3. revivifier l'horizon de surface par du compost, fumier, litière, légumineuses rampantes ;
4. corriger le pH du sol jusqu'à 5 pour supprimer la toxicité aluminique (cendres, résidus) ;
5. nourrir les plantes cultivées en rendant le stock de nutriments assimilable (MO, purin, feu, litières) et compléter les besoins de la plante par des apports minéraux raisonnés ;
6. sélectionner une couverture végétale bien adaptée couvrant rapidement le sol sans pour autant devenir envahissante.

3.2. *L'investissement indispensable pour restaurer le sol (travail, fumure organique et minérale) ne sera accepté que si les bénéfices le justifient et sous la pression socio-économique, sans quoi les paysans reviennent à aux jachères traditionnelles et aux cultures extensives.*

3.3. *Il est temps de réorienter les recherches* vers les solutions à la dégradation des sols et à les adapter localement aux milieux et aux besoins des paysans. Dans tous projets de lutte antiérosive, 10% du budget devraient être réservés à la recherche de systèmes de production rentables, acceptables par les paysans et efficaces pour la gestion de l'eau et de la fertilité des sols.

3.4. Nous invitons nos collègues des régions tropicales à **revisiter les techniques traditionnelles**, à tester leur amélioration en intégrant nos connaissances modernes sur la fertilisation, la gestion de la flore, faune et microflore, les ressources génétiques et la diversité biologique plutôt que de s'éterniser sur les techniques mécaniques pour lutter contre l'érosion et le ruissellement, mal adaptées aux averses tropicales et aux pluies cycloniques saturant la couverture pédologique.

Bibliographie

Aronson J., Floret C., Le Floc'H E., Ovalle C., Pontanier R., 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology*, 1, 1 : 8-17.

Azontonde A., 1993. Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. *Cahier ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 217-226.

Boli Z. et Roose E., 1996. Dégradation & restauration of a sandy alfisol under cotton/maize intensive rotation in the sudano savannah of northern Cameroun. In "Towards sustainable land use: furthering cooperation between people and institutions" 9th ISCO Conference, Bonn, Germany, 281-282.

Collinet J., Mazariego M., 1993. Réhabilitation de sols volcaniques dégradés à l'aide d'amendements organiques au Salvador (Amérique Centrale). *Cahier ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 187-202.

Conedera M., Bomio N., Bomio P., Sciacca S., Grandi L., Boureima A. Vettraino A.M., 2010. Reconstitution des écosystèmes dégradés sahéliers. *Bois et Forêts des Tropiques*, 304: 61-71.

De Noni G., Viennot M., 1993. Mutations récentes de l'agriculture équatorienne et conséquences sur la durabilité des agrosystèmes andins. *Cah. ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 277-288.

- De Noni G., Janeau J.L., Prat C., Trujillo G., Viennot M., 1994.** Hydrodynamique, érodibilité et conservation des sols volcaniques indurés d'Amérique latine (Equateur, Mexique et Nicaragua) : impact du matériaux originel et effet de réhabilitation agricole .In 15^{ème} congrès mondial de Sciences du Sol, Vol 6., ISSS-MSSS, Acapulco, Mexico : 554-570.
- Koenig D., 2005.** Agroforesterie au Rwanda : efficacité et limites. In «Erosion et GCES ». Journées Scientifiques AUF , Antananarivo : 37-40.
- Floret C et Serpantié G. 1991.** La jachère en Afrique de l'Ouest. Edition ORSTOM, série colloques et séminaires , Montpellier, 494 p.
- Leneuf N., 1959.** L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Thèse Fac. Sciences, Paris, 210 p.
- Quantin P., Prat C. Zebrowski, 1993.** Erosion et restauration des sols volcaniques indurés « tepetates »de la région de Mexico et de Tlaxcala, Mexique. *Cahier ORSTOM Pédol.* 28, 2 : 175-185.
- Rishirumuhirwa Th., Roose E., 1998.** Arrière effets de l'érosion et des fumures organiques et minérales sur la réhabilitation des sols acides (Burundi). *Bull. Réseau Erosion* 18 :315-322.
- Roose E., 1991.** Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne. In « *La jachère en Afrique de l'Ouest* » C. Floret et G. Serpantié, édit. sc. , Edition ORSTOM, série colloques , Montpellier, 494 p.
- Roose E., 1993.** Innovations dans la conservation et la restauration des sols. *Cahier ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 147-156.
- Roose E., Kabore V., Guénat C., 1993.** Le Zaï : fonctionnement, limites et améliorations d'une pratique africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). *Cah.ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 159-173.
- Roose E., Ndayizigiye F., Sekayange L., 1993.** L'agroforesterie et la GCES au Rwanda. Comment restaurer la productivité des terres acides dans une région tropicale de montagne à forte densité de population. *Cah.ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 327-350.
- Roose E., 1994.** Introduction à la GCES. *Bulletin FAO des Sols*, Rome, n°70, 420 p.
- Roose E., Ndayizigiye F., 1996.** Agroforestry & GCES in Rwanda. *Soil Technology*, 11, 1 :109-119.
- Roose E., Sabir M., De Noni G., 2002.** Les techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen. *Bull. Réseau Erosion* 21 : 524 p.
- Roose E., Barreteau D., 2003.** Erosion et environnement à la réserve naturelle de la Caravelle, Martinique. *Antilla*, 1030 :18-19.
- Roose E., Vernière N., Laune P., 2004.** Lutte antiérosive et revégétalisation assistée d'un versant décapé de la Réserve Naturelle de la Caravelle (Martinique). C.R final de la convention PNRM-IRD, exposé de 30 diapositives.
- Roose E., Barthès B., 2006.** Soil carbon erosion and its selectivity at the plot scale in Tropical and Mediterranean regions. In "*Soil erosion and carbon dynamics*", Roose E., Lal R., Feller C., Barthès, B Stewart eds., Advances in Soil Sciences. CRC Press, Boca Raton, Floride, pp 55-72.
- Sawadogo H., Bock L., Lacroix D., Zombré NP., 2008.** Restauration des potentialités des sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). *Biotechnol.Agron.Soc.Environ.* 12, 3 : 279-290.
- Seignobos C., 1998.** Pratiques antiérosives traditionnelles : l'élaboration des terrasses des monts Mandara et la récupération des terres hardé (Nord Cameroun). *Bull. Réseau Erosion* 18 : 300-305.
- Smolikowski B., 1993.** La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haiti. *Cahier ORSTOM Pédol.* 28 : 229-253.

Des stratégies traditionnelles pour la lutte contre l'érosion dans les monts Mandara et dans la plaine du Diamaré NO du Cameroun.

Christian SEIGNOBOS* et **Michel TCHOTSOUA****

*IRD UR199 « Dynamiques socio-environnementales et gouvernement des ressources » Montpellier,

**Université de Ngaoundéré, Département de Géographie

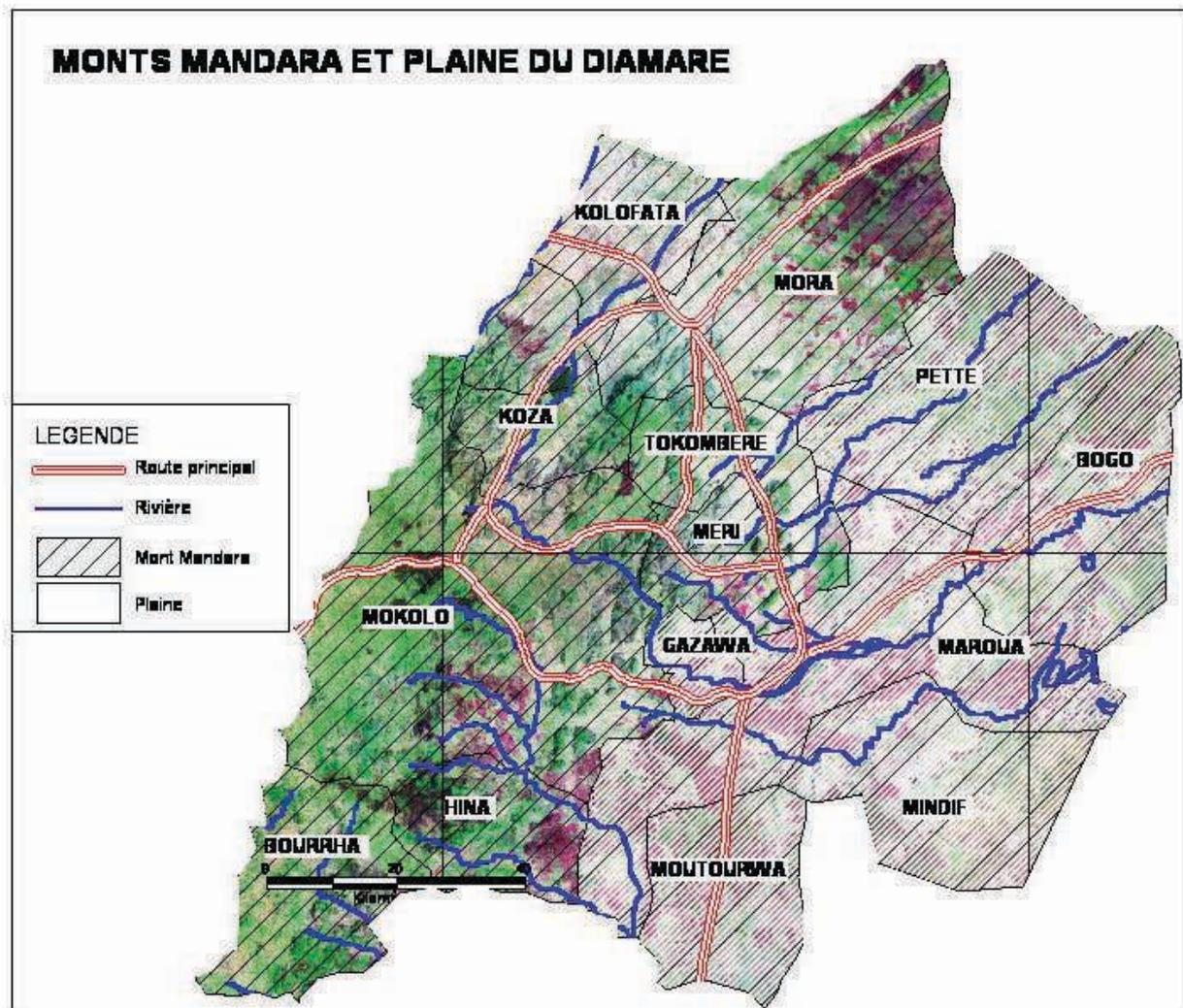
christian.seignobos@wanadoo.fr, tchotsoua@yahoo.fr

Résumé : Le Nord du Cameroun est, avec les monts Mandara, une référence en Afrique en matière d'aménagement en terrasses. Ces réseaux de terrasses en gradins isohypses, qui cisèlent l'intégralité des pentes et infiltrent toutes les pluies, se voient complétées, généralement dans les talwegs plus menacés par l'érosion, par des dispositifs de canaux-drains souvent dédiés à des cultures particulières attirées par l'eau. Dans les plaines du Diamaré, ce n'est plus l'entièreté du terroir qui, comme en montagne, suit un modèle cohérent d'aménagement. Les techniques antiérosives n'intéressent que certaines parties des terroirs. Il s'agit de sols argileux, les vertisols, voués à une culture stratégique en ce qu'elle est réputée prévisible, celle des sorghos repiqués de contre-saison dont la part dans l'agrosystème n'a cessé de croître depuis les années 1950. Ces stratégies de lutte contre l'érosion et l'entretien de la fertilité, en dépit de leur degré de sophistication et de leur efficacité par le passé, ont perdu de leur pertinence avec les mutations démographiques, sociales et techniques. Aujourd'hui, la lutte antiérosive est devenue un impératif pour l'ensemble des communautés agricoles et pastorales du Nord du Cameroun, mais les recettes du développement n'ont pas jusqu'ici entraîné l'adhésion attendue.

Mots-clés : Nord Cameroun, monts Mandara, lutte antiérosive, terrasses, fertilité des sols.

Abstract: The Northern Cameroon, along with the Mandara Mountains, is a reference to Africa in terms of terracing. These networks of curvilinear terraces, which carve the entire slope, are completed, generally in the troughs more threatened by erosion, by either channel-drain often dedicated to specific crops living near water. In the plains of Diamaré, it is not the entirety of the land, like in the mountains, following a consistent pattern of development. Erosion control techniques concern only certain parts of the land. These lowland Vertisols, dedicated to a strategic culture as it is deemed foreseeable, that of transplanted sorghum season-cons whose share in the agro-ecosystem has grown steadily since the 1950. These strategies against erosion and maintain fertility, despite their sophistication and effectiveness in the past have lost their relevance with the demographic, social and technical pressure. Today, erosion control has become an imperative for all agricultural and pastoral communities in northern Cameroon, but revenues from development have so far resulted in the expected accession.

Keywords: Northern Cameroon, Mandara Mountains, erosion control, terracing, soil fertility.



Introduction

Les régions traditionnellement densément peuplées se sont toujours avérées les meilleures gestionnaires de la conservation des sols et de l'entretien de la fertilité. Ce fut le cas pendant longtemps des pays masa, gizey, tupuri (25 hab/km²) qui combinent des soles de sorghos sous des parcs denses de *Faidherbia* associés à un élevage bovin important. Après 1970, la saturation foncière et les spéculations ont provoqué, du moins chez les Tupuri, un déséquilibre de ce modèle.

Les monts Mandara auraient pu être le théâtre d'une érosion intense par ravinement, il n'en a rien été. L'équilibre a été obtenu grâce à de fortes densités de peuplement (80 à 150 hab/km²), seules en capacité d'entretenir un aménagement intégral des terroirs par des terrasses, un contrôle des eaux d'écoulement et la gestion savante d'une végétation sélectionnée. C'est la déprise actuelle de certains terroirs montagnards qui introduit l'érosion.

Ainsi chaque société agricole a dans le passé recherché un équilibre entre potentialités édaphiques, choix agronomiques et densités de peuplement et d'élevage, mais il s'agissait là de modèles fragiles.

Le développement urbain, la sortie des économies de subsistance, l'obligation de passer à des cultures spéculatives ont bousculé ces systèmes qui, sans ignorer l'érosion, savaient en partie en compenser les méfaits. L'érosion s'est développée, avec les spéculations. C'était le prix à payer pour à la fois entrer dans la monétarisation et accéder à « l'indépendance alimentaire ». Pour rester dans le cliché, le tandem charrue-production cotonnière va rapidement produire de l'érosion. Cette érosion va même, pour ainsi dire, s'exporter avec la descente des migrants de l'Extrême Nord, précisément des zones où ils avaient prouvé leurs savoir-faire pour juguler l'érosion, dans les fronts pionniers des plaines de la Bénoué où ils seront accusés de se livrer à une sorte « d'exploitation minière ».

Nous allons exposer deux exemples d'agro-systèmes qui font la démonstration d'une lutte, encore à l'œuvre, contre l'érosion dans les monts Mandara et les plaines du Diamaré.

1. L'élaboration des pratiques antiérosives dans les monts Mandara : un système global fondé sur les terrasses

L'érosion est dénoncée depuis l'après guerre par des « ingénieurs d'agriculture coloniale » qui réclament déjà à l'époque une intervention d'urgence pour la restauration des sols et des couverts arborés. A. Vaillant n'en signale pas moins certains systèmes antiérosifs efficaces comme ceux des monts Mandara à travers ses enquêtes agronomiques chez les Mofu de Wazan : « *Les murs en pierre sèche établis par les populations du Mandara forment une série de terrasses qui retiennent la terre. Au moment des pluies, l'eau est absorbée par ces divers plans horizontaux [...]. Toutes ces terrasses forment donc comme autant de cuvettes de terre poreuse qui laissent filtrer lentement l'eau en excès à la base de leurs murs. Longtemps après une forte pluie, une circulation lente de l'eau se continue des terrasses supérieures aux terrasses inférieures* » (A. Vaillant, 1948 : 10).

Les populations apportent tous leurs soins à l'entretien des murs de soutènement des terrasses dans la mesure où elles leur permettent de survivre. Toutefois il n'est pas certain que, dans les monts Mandara, la construction des terrasses se soit faite en commençant par le bas de la pente et en remontant progressivement jusqu'au sommet comme dans le Rif marocain (Sabir *et al.*, 1999). Les monts Mandara ont offert un refuge à des populations qui ont d'entrée privilégié des positions défensives sur les crêtes et les encorbellements. Ce sont les terrasses qui ont créé les champs sur des coulées de blocs de rochers ou sur des collines caillouteuses. Grâce aux chaos de roches granitiques sommitaux travaillés par l'érosion mécanique favorisant à son tour l'action chimique dans les diaclases pour libérer quartz, biotite, mica... les terrasses récupèrent toute cette arène granitique. L'appellation par les Mofu du mur de la terrasse : *mengue ley* (= piège + champ) est sans équivoque. Par ailleurs, Mafa et Mofu accélèrent l'éclatement des roches en semant et en bouturant dans les fentes de futurs gros ligneux : caïlcédrats, *Ficus*, *Diospyros*... qui, dans cette situation, ne pouvaient gêner les cultures. En revanche, ils amendaient fortement, avec des tiges de mil et du fumier, les parcelles de « roches pourries » (*jeheher* en mofu). Les montagnards n'hésitaient pas à construire des parcelles artificielles linéaires sur les plaques rocheuses derrière un liseré de pierres, qui récupéraient l'eau de ruissellement pour des récoltes précoces.

Dans ces milieux de montagne, les éléments fins descendent en continu avec le ruissellement. Mais les terrasses vont maintenir leur contenu de terre arable qui ne cesse de se renouveler, faisant de ces lithosols des sols à jamais peu évolués. Ils seront longtemps mis au bas de l'échelle des pédogenèses par les pédologues. Toutefois, à partir de ces « sols squelettiques » les hommes vont tirer des cultures et pratiquer des rotations culturales

parfaitement adaptées, au point qu'ils pourront supporter à certains endroits des densités de peuplement supérieures à 200 hab/km².

Le choix se portera sur des cultures peu exigeantes, en accord avec ces sols légers : les éléusines, les petits mils et surtout des sorghos de lithosols, les *slaraway* ou *cerge*, tellement spécialisés qu'ils se révèlent improductifs en plaine.

De plus, dans les massifs mafa, les plus enclavés, la rotation biennale petit mil/sorgho vise encore à ménager ces sols et à enrayer la prolifération de certaines adventices et celle de déprédateurs. L'année du petit mil (année bissextile) s'accompagne d'une énorme production de niébés d'une surabondance d'oseille de Guinée, semée en ligne qui entoure et quadrille chaque parcelle afin que les niébés soient mieux protégés. Cette année vouée aux légumineuses prépare celle du sorgho qui permettra de dégager un léger surplus en grains. Oseille de Guinée et niébés peuvent apparaître comme un lot de cultures de substitution lors des crises alimentaires provoquées dans le passé par des criquets et autres ravageurs. La cohérence de ces agrosystèmes a contribué à forger de véritables civilisations climaciques montagnardes.

Tout repose sur un entretien scrupuleux des murs des terrasses avant chaque saison des pluies. Elles vont, bien sûr, varier en fonction de la déclivité, du matériau et des pratiques du travail de la pierre des différentes communautés montagnardes. Elles sont plus resserrées sur le haut des pentes alors que, vers les fonds de talwegs, les parcelles prennent de l'ampleur. On peut voir les plus beaux murs de soutènement de pierres sèches jointoyées avec des éclats de roches, de 2 à 3 m de hauteur, chez les Podokwo et les Gemzek ; la pierre est cassée plutôt que taillée. Ailleurs, dans les vallées intra montagnardes, les terrasses, toujours curvilignes, plus modestes (de 0,50 à 0,75 m) relèvent plus d'un épierrage minutieux des champs (Photos 1 et 2 en pays mafa).



Photo 1. Terrasse de tête de vallon
Cliché M. Tchotsoua, Mars 2007



Photo 2. Terrasses à proximité de concessions
Cliché M. Tchotsoua, Mars 2007

Ce travail transforme des pentes caillouteuses en terrains plus fertiles à certains endroits que les colluvions des piémonts. Sous les gros amas de blocs, les replats des terrasses reçoivent les particules rocheuses délitées qui, mélangées aux sols participent à leur fertilisation.

Ce qui, dans les Mandara, frappe l'observateur, c'est cette mise en terrasses totale des massifs, comme le souligne J. Boutrais (1973) : « *Le modèle du terroir montagnard ne comprend pas d'espaces incultes [...]. L'homme transforme le paysage naturel en paysage densément humanisé. En détruisant le couvert forestier naturel, remplacé par un semis d'arbres sélectionnés, il est contraint, pour éviter l'érosion, de mettre à nu les versants, d'en*

modifier l'ensemble des pentes par des terrasses. Le système de terrasses n'est efficace que s'il couvre tout le versant des premières pentes jusqu'à l'aval ».

La place des arbres sera minutieusement calculée. On contrôle la croissance de certaines essences de pleine terrasse comme *Faidherbia albida*, *Vitex doniana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia polyacantha*... D'autres servent de soutien aux murs ; dans le nord des monts Mandara, il s'agit de *Terminalia brownii* (chez les Podokwo et les Muktele), *Ziziphus mauritiana* (Mofu, Mafa) et, plus au sud, d'*Holarrhena floribunda* (Bana, Djimi). Traités en têtard bas à un ou plusieurs brins pour fournir des perches, on contrôle leur venue afin qu'ils ne gênent pas la croissance du mil. Un certain nombre d'essences arbustives sont exploitées au pied même des terrasses, comme *Grewia vilosa*, le *sokwor* des Mofu et des Mafa. Recépé très bas par les femmes, son liber donne une sauce fortement mucilagineuse très commune.

Les murs des terrasses chez les Mafa de Magoumaz et de Ziver portent, pour les plus importants, **une végétation de graminées** comme *Cynodon dactylon* et *Digitaria spp.* qui serviront pour l'affouragement du bétail claustré pendant la saison des pluies. On y rencontre aussi une petite fougère, *Adiantum philipensis*, placée là, comme les graminées avec leur motte de terre, afin que leur système racinaire stolonifère tienne les pierres et surtout contrôle le suintement de l'eau. Sur le haut de la terrasse, le long du muret intérieur, on semait en lignes des éleusines qui tallent fortement.

La plupart des terrasses marquent une inclinaison faible, **en contre pente vers le mur** de la terrasse du haut pour forcer l'eau à percoler la terre de la terrasse dans son épaisseur. Les réseaux de terrasses qui, parfois, dépassent 200 m. de dénivelé ont rarement été conçus comme des ouvrages d'ensemble. Chaque exploitant a construit ses terrasses et les a raccrochées à celles de ses voisins sur des niveaux approchants. Les petits décrochements que l'on observe au moment des raccords ne nuisent pas à l'efficacité générale. Les terrasses ne sont pas, non plus, des ouvrages fixes. Au cours de sa vie, un paysan a pu changer certains de leurs linéaments. Mais, dans la mesure où il s'agit de touches souvent infimes avant chaque saison des pluies, les habitants des montagnes ont le sentiment d'un immobilisme des réseaux de terrasses et d'un héritage global des « ancêtres ».

Contrairement à une idée reçue, **un réseau de terrasses peut être rapidement monté.** Sur la route Maroua-Mokolo, après Mouhour, l'ensemble des terrasses a été dessiné et bâti dans les années de l'indépendance. Après un conflit (Ziver-Vouzad) en 1961 et 1962, un quartier de Ziver a été déporté entre Mouhour et Mokolo. En quelques années, cette zone de plateau (« Ziver plaine ») a été couverte de terrasses (J. Boutrais, 1973). Il en a été de même de toute la ligne de crête de Cuwok qui domine la plaine de Zamay, entre 1950 et 1975, et pour une majorité d'entre elles en moins de quinze ans, ce dont nous avons été témoin dans les années 1970 (C. Seignobos).

Le maintien de la fertilité est en partie assuré par **des arbres de restitution agronomique** comme *Acacia polyacantha* que l'on retrouve encore dans des vallées reculées (pays mada). Ils ont été peu à peu remplacés ou complétés aux XVIIe et XVIIIe siècles par *Faidherbia albida*, diffusé par les zébus achetés en plaine chez les Peuls (C. Seignobos, 1993A). Sous leurs houppiers, on retenait la litière avec des graminées mises en paillis et que l'on allait enfouir dans d'autres parties de la parcelle. Les montagnards épandaient systématiquement des cendres et de la poudrette de petit bétail.

Lors du 2^{ème} sarclage a lieu l'enfouissement systématique des rudérales dans de petites **buttes intercalées entre les pieds de mil**. Avec le 3^{ème} sarclage, désigné par « enlever les feuilles de sorgho » (*ma gworey*), ce sont les basses feuilles de la tige qui sont soit enfouies, soit données au bétail claustré. Ce dépouillement des basses feuilles permettait aux sorghos de montagne d'aller jusqu'au bout de leur croissance. Ce sarclage est aussi celui du **désenroulement des niébés sur les tiges de sorghos** ou de petit mil, afin de concourir à une protection maximale du sol contre l'agression de la pluie. Le sol des terrasses est l'objet de soins constants de la part des montagnards. Les appellations en mofu, par exemple, en rendent compte comme d'une chose vivante. Le sol est la peau de la terre (*dlay ma dala*), comme on le dit pour la peau de l'homme (*dlay ma ndaw*) alors que celle concernant l'animal est différente. Soit à sec, soit après les pluies, le sol des terrasses n'est jamais travaillé profondément, cette technique étant réservée aux zones humides. Si l'érosion se manifeste, on parle de plaie (*mblek*) du sol. Pour y remédier, il faut alors le « panser », sans cela la fertilité peut partir et on dit du champ appauvri qu'il s'est enfui (*ley kamcila...*).

Dans cette agriculture intensive, les espaces sensibles à l'érosion, les bassins de réception des hauts talwegs, les parties jouxtant les torrents et surtout les lignes de piémont où convergent les eaux de ruissellement vont être traités par le biais de cultures bien particulières. L'eau est utilisée pour les cultures, tout en dispersant et en disciplinant les plus gros flux après de fortes pluies. De **micro rizières** vont récupérer certains passages d'eau tout en la contraignant à emprunter **un compartimentage très serré de diguettes**, parfois hautes de 50 cm, limitant ainsi les effets érosifs. Le taro est très présent chez les Mafa. On le cultive en général au pied de grandes plaques rocheuses, dans des endroits où l'eau sourd. Les Mafa créent alors **un quadrillage de petits murets de pierres** qui vont faire circuler l'eau dans cette **tarodièrre** (*giy mesler*) avec une entrée et une sortie de l'eau (également signalé par F. Hiol-Hiol et al., 1996 : 281).

Ce sont également des **parcelles de souchet**, *giy menda* (*Cyperus esculentus*). Pour ce minuscule tubercule qui aime la proximité de l'eau sans toutefois en supporter les excès, on construit des planches-billons selon des surfaces et des hauteurs variables. Ce gros travail est exécuté par les hommes même s'il s'agit d'une culture exclusivement féminine. **Les planches-billons disposées en quinconce**, obligent l'eau venant des massifs à se diluer dans un lacs de canaux, l'eau empruntant **un parcours constamment en baïonnette**. Les angles de ces grosses planches où l'eau vient buter peuvent être renforcés par des parements de pierres. Les planches ne sont pas obligatoirement individualisées, mais elles peuvent représenter des surfaces avec des rentrants de canaux, sorte de digitations dont le but est toujours de profiter du passage de l'eau tout en annihilant les excès du ruissellement.

La culture du souchet, quatre à cinq variétés, constitue le plus important apport saccharifère pour les montagnards. Les femmes y épandent **des fientes de poulet, poudrette et cendres afin d'empêcher la venue de déprédateurs** ou les recouvrent de branches pour prévenir l'attaque de rongeurs et d'oiseaux.

La patate douce a intégré tardivement l'agrosystème montagnard dans la gestion de ses parties humides et sensibles à l'érosion. Les **hauts billons longilignes** sont mis à profit pour être combinés aux tarodières et aux billons plats des souchets. On y rencontre encore des billons circulaires fortement bombés pour le *Ceratotherca sesamoïdes* (*mejiger metexed*), dont la production de semence sera vendue aux maraîchers de la plaine.

Mais ce sont les aménagements des hauts talwegs qui présentent les systèmes antiérosifs les plus complexes ; celui de Way Ziver dans la cuvette sommitale du massif de Ziver semble en être le plus bel exemple. Les way (points d'eau) en pays mafa sont **des mares, des sources ou encore des puits généralement entourés d'une pâture enclose de haies d'Euphorbiaceae**. Un collecteur longe l'extérieur de la haie et reçoit l'eau à partir de réseaux de drains qui vont la capter sous les dernières terrasses du bas des pentes. Ces canaux-drains (*luray*) composent un système de planches (*var uray*) qui ne sont pas sans évoquer la disposition des planches de souchet. Simplement celles des way sont pérennes et portent les mêmes rotations culturales que celles de l'ensemble du massif. Dans certains canaux, en revanche, on peut cultiver le taro. Ainsi au cœur de la saison des pluies ***l'eau sera canalisée vers le collecteur qui, ensuite, la conduit dans le torrent du talweg***. L'eau pourra aller imbiber la pâture enclose parfois jusqu'à ce qu'elle devienne spongieuse, sans toutefois créer la moindre altération par érosion. L'eau dans le talweg est freinée par ***des lignes d'enrochements*** disposées perpendiculairement au courant et par une ***végétation ripicole*** suffisamment dense et filtrante d'*Acacia ataxacantha* et de *Ziziphus mucronata*.

Bien que ces communautés montagnardes ne soient pas des sociétés de l'hydraulique, elles ont pu réaliser un certain nombre de cultures grâce à un relatif contrôle de l'eau, sur des espaces mesurés, mais essentiels quant au dispositif antiérosif du terroir. A la différence des terrasses, le but recherché et non induit semble bien avoir été une réelle volonté de bloquer l'érosion.

Dans les années 1940, ce que l'on craignait déjà en matière d'érosion pour les monts Mandara, c'était – à la différence de la plaine – un relâchement des densités de peuplement, « l'abandon des ouvrages d'art qui ont consolidé la terre sur les pentes et discipliné les eaux sauvages et torrentielles » (A. Vaillant, 1948 : 11).

Lorsque l'émigration atteint certains seuils, elle contraint à l'abandon de terres et donc de terrasses en commençant par celles du haut, les plus étroites. Le processus d'abandon est largement décrit par J. Boutrais (1973) qui l'analyse dans les premiers glissements d'habitat en plaine chez les Mafa de Moskota. Les terrasses abandonnées résistent plus ou moins bien aux passages du bétail. Elles s'éboulent et sont remplacées par des couloirs d'érosion à peine contrariés par une amorce d'emboisement des pentes. En 2009, les hommes valides sont dans les villes ou travaillent à façon en plaine. C'est aux femmes qu'incombe la responsabilité des terrasses. Or, elles ne sont pas des ayants droit sur ces terres, aussi n'exécuteront-elles qu'à minima la réfection des dégradations occasionnées par le petit bétail pendant la saison sèche.

Dans les années 1970 encore tous les massifs ou presque étaient vivifiés ; en 2009, on constate de nombreux abandons et des « trous » dans ce tissu aménagé en continu. Chacun tend à se concentrer sur l'espace situé autour de sa ferme (*ay*). Le paysan mofu va accorder plus d'importance à son « ***champ de case*** » (*ar manbow*). Ainsi les terrasses, surtout celles de soutien des *ay*, seront régulièrement entretenues. Peut-on alors associer cette nouvelle redistribution des exploitations à une logique d'organisation économique de type Von Thünen (Léonard et al, 2002), ***l'effort d'entretien étant centré sur les lieux le plus souvent fréquentés et travaillés ?***

2. Des pratiques antiérosives de la plaine du Diamaré, des applications spécifiques

Dans les piémonts et les plaines où l'espace était moins compté qu'en montagne, on relève des ébauches de systèmes antiérosifs. Mais, ici encore, ils ne sont que contingents à d'autres buts qui répondaient à **des protections de parcelles contre les intrusions du bétail, ou servaient à marquer un espace approprié**. Elles sont formées de **haies** dont la plupart, dans les piémonts des Mandara et la région de Maroua, expriment des sortes d'archéophytes composés de *Commiphora africana*, *Acacia ataxacantha* et de différentes Euphorbiaceae, issus de **systèmes défensifs** encore présents au début du XXe. Ils ont été démantelés et corrigés par des essences moins agressives comme les haies de *Jatropha curcas*. Dans ces anciens bocages défensifs, les lignes perpendiculaires à la pente peuvent encore prétendre à des effets antiérosifs.

Les paysans des plaines du Diamaré ont porté leurs efforts sur l'entretien de leurs vertisols (*karal*) au service d'une culture de contresaison, les sorghos repiqués (*muskuwaari*). Depuis trois décennies, cette culture s'est substituée à celle du coton comme pivot de l'agrosystème aussi bien en vivrier qu'en spéculation.

Il existe une gamme **de karal** qui, chacun, réclame des traitements particuliers quant au brûlis, au sarclage, à l'écartement et à la profondeur des plants. Le besoin de cultiver ces sorghos désaisonnés, culture réputée « sûre » en ce qu'elle n'est pas tributaire des pluies, a poussé les paysans à défricher toujours plus de vertisols jusqu'à investir des sols aux horizons faiblement argileux et surtout à récupérer **des sols halomorphes « stériles », les harde** (Seignobos, 1993 B).

Il existe, ici encore, plusieurs types de *harde*. Ceux en marge des villages sont des **terres stérilisées par le stationnement du bétail** (*harde dabbaji*) avant son départ pour les pâturages. Ils sont facilement récupérables alors que d'autres demandent plus d'investissement pour être à nouveau vivifiés. La reprise de ces sols halomorphes s'effectue à l'aide de **carroyages de diguettes** (*dingiiji*) de 0,30 m de haut en moyenne et qui favorise une contention de l'eau de pluie. Elle devra s'infiltrer progressivement dans les horizons argileux, constituant ainsi une réserve pendant la saison sèche. On vient y verser, en dépit du manque de moyen de charroi, de la poudrette qui favorisera la venue d'un couvert graminéen dominé par les *Setaria spp.* souvent aidé par un ensemencement artificiel.

Pendant toute la saison des pluies, les *karal* portent une sorte de « **jachère dérobée** » qui sera brûlée avant le repiquage. Des trous d'eau de 2 à 3 m de diamètre (*okoloore*) sont aménagés à espaces réguliers sur l'ensemble des vertisols ; ils servent à entreposer les bottes de *muskuwaari* et à verser de l'eau dans les trous des plants afin de réduire le stress hydrique.

En montagne comme dans les zones de *karal* il s'agit pour les populations de protéger un potentiel jugé vital pour elles, même si pour les *muskuwaari*, il n'est devenu vital qu'après les années 1955 avec l'imposition du coton.

3. Les limites de la lutte antiérosive traditionnelle

Les exploitations montagnardes présentaient de bons rendements, mais des productivités faibles. Aujourd'hui ce constat est remis en cause par un changement au sein de la force de travail. La main d'œuvre familiale, appauvrie par l'émigration des jeunes, conduit à une féminisation du travail de la terre entraînant des changements, non seulement des rythmes de travail, mais aussi de types de cultures. Sur la montagne, le besoin en intrants et en disponibilité financière se fait également sentir au point que, dès la décennie 1990, le coton a été spontanément cultivé sur les terrasses de Zamay à Mokolo et de Koza à Djinglia. On entre dans une crise de la structure paysagère de la montagne qui ne sera pas sans conséquences sur l'érosion risquant même d'impliquer les piémonts des Mandara.

En plaine, le coût de la main d'œuvre et l'impérieuse nécessité d'un repiquage rapide ont toujours constitué le goulot d'étranglement de la culture des sorghos repiqués. Le paysan a cru l'avoir résolu à partir de 2000/2001 par l'utilisation massive d'herbicides. La répétition de ces pratiques ne manque pas de transformer et d'appauvrir cette « jachère dérobée » de saison des pluies et suscite quelques inquiétudes chez les exploitants quant à la fertilité et l'avenir de leurs vertisols.

Ce sont les agro-systèmes qui intègrent les pratiques antiérosives soit de façon globale comme sur les Mandara septentrionaux, soit sur une famille de sols particuliers dans les plaines du Diamaré. Mais, *en aucun cas, les techniques contre l'érosion sont plaquées sur un système agronomique*, elles lui appartiennent, pourrait-on dire, de façon consubstantielle. En d'autres termes, il n'existe pas de pratiques antiérosives employées pour ce qu'elles représentent.

C'est la réponse à toutes les interrogations des Développeurs depuis le début des années 1980 : pourquoi les populations capables d'exploiter des techniques pour combattre l'érosion dans leurs pays de départ, une fois sur les fronts pionniers de la Bénoué ne reproduisent-elles pas, sur ces nouveaux sites, leurs « bonnes habitudes de gestion conservatoire des sols » ?

Le maintien de la fertilité associé à un aménagement de terroirs, à une intensité de soins apportés à la terre et à une gestion optimale de la fumure ne suffit pas. L'argent se gagne ailleurs et des jeunes partent (J. Louléo 1977). Aussi, en dépit d'adaptations remarquables par le passé, la logique de production évolue et elle induit des points de rupture remettant en cause la reproductivité de ces systèmes. A cela s'ajoutent des phénomènes de saturation foncière, sources de conflits rémanents.

Il est primordial pour les développeurs, si l'on veut augmenter la productivité, de procéder à une *meilleure gestion de l'eau, mais aussi à une meilleure gestion des nutriments et de la matière organique*. Ainsi, dans les propositions, désormais classiques, du Développement au Nord Cameroun, on retrouve la production de *haies vives et de bandes d'arrêt enherbées*. Elles favorisent l'infiltration par ralentissement des écoulements tout en bloquant les processus de transport d'éléments solides. On peut améliorer la restitution organique en répandant dans les espaces des intertalus les résidus de taille restituant ainsi des nutriments...

La Sodécoton, seule à conduire un développement de masse montrait que sur ses milliers d'hectares aménagés en 2008 par le projet DPGT (Développement Paysannal et

Gestion de Terroirs), la dominante *des bandes enherbées* était située au sud de la Bénoué (75%), les *cordons pierreux* au nord de la Bénoué jusqu'à Guider (15%) et les ados, bourrelets renforcés d'*Andropogonées*, entre Kaélé et Mora (10%) (Roose *et al.*, 1998). Parallèlement, on a multiplié les parcs de restitution agronomique volontaires de *Faidherbia albida* créés parfois *ex nihilo*, de *Prosopis africana* et de divers *Acacia*.

Les dernières propositions (Boli et Roose, 2004) du Développement dans le Nord du Cameroun, concernent les SCV (*Systèmes de culture sur couvert végétal*). Ce labour biologique serait appelé à prendre le pas sur le labour mécanique promu plus d'un demi-siècle auparavant et désormais accusé d'avoir favorisé l'érosion et l'appauvrissement des sols.

Les SCV présentés comme un retour à des formes compréhensibles d'agriculture auraient sans doute été plus en conformité avec les agrosystèmes des années 1930. Toutefois les paysans du Nord du Cameroun ont fini par adhérer à l'agriculture qualifiée de productiviste. Cette agriculture les a fait vivre et, pour certains, prospérer ces dernières décennies. Elle a su créer ses propres critères de réussite basés sur l'idéal du « laboureur » avec ses bœufs d'attelage et tout le matériel afférent.

Les mots d'ordre des SCV vont à l'encontre de ceux de la précédente révolution technologique, ils sont néanmoins imposés sur le même mode idéologique. En plus du *maintien des résidus de récoltes*, ils prônent la réintroduction de l'herbe sur le champ, les « mauvaises herbes » n'en sont plus et les *légumineuses sont plébiscitées*. Le sillon de la charrue fait place à une trouaison du mulch qui devrait s'accompagner d'une réduction des intrants. *Le travail de la terre est confié à l'entomofaune et aux systèmes racinaires*. Mais, surtout, plantes de couverture et résidus de récoltes ont la charge d'enrayer enfin l'érosion.

Les SCV ne peuvent être la panacée, mais face à la démultiplication des crises, celle du système montagnard, celle cotonnière avec des prix d'achat toujours plus bas et des intrants toujours plus chers, celle de la dérégulation de l'élevage transhumant dans la violence, la configuration développementiste semble se rallier à ce défi : produire une biomasse abondante accessible à tous. Les SCV, théoriquement partout applicables, ne semblent devoir être promus que dans les terroirs cotonniers. Ils ne s'adressent ni aux champs en terrasses, ni aux zones de vertisols, comme si les agrosystèmes concernés poursuivaient leur évolution singulière.

Conclusion

Les stratégies antiérosives relèvent de systèmes de cultures intensives, aussi celles nouvellement proposées incitent-elles également les paysans à s'orienter vers l'intensif. Or, si *l'agriculture intensive nourrit, c'est l'agriculture extensive qui rapporte* et les paysans ne sauraient accepter d'affaiblir leur productivité par des travaux supplémentaires d'aménagement. Les SCV représentent un système qui intègre au maximum la lutte antiérosive, mais celui-ci n'a pas pour autant fait aux paysans du Nord du Cameroun la démonstration de sa supériorité dans les rendements (Boli et Roose, 2004).

Bibliographie

- Boli Z., Roose E., 2004** Effet du labour classique et du semis direct sous litière sur le fonctionnement de deux sols ferrugineux tropicaux sableux à Mbissiri, Nord Cameroun. In : « *Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone* ». E. Roose, G. De Noni, Ch. Prat, F. Ganry, G. Bourgeon, éd. sc. IRD Montpellier, *Bull. Réseau Erosion* n° 23 : 431- 437.
- Boutrais J., 1973.** *La colonisation des plaines par les montagnards du Nord du Cameroun (monts Mandara)*. Travaux et documents de l'Orstom N°24, Paris, 277 p.
- Boutrais J. et al., 1984.** *Le Nord du Cameroun, des hommes, une région*. Orstom, Paris, 551 p.
- Donfack P., Seignobos C., 1996.** « Des plantes indicatrices dans un agrosystème incluant la jachère : les exemples des Peuls et des Giziga du Nord-Cameroun » pp. 231-250. *Journ. d'Agric. Trad. et de Bota. Appl.*, Vol. XXXVIII. Paris, 296 p.
- Dumas D., 1992.** *Les terrasses de cultures dans les monts Mandara*. Univ. de Strasbourg, Maîtrise de Géographie, 128 p.
- Hallaire A., 1991.** *Paysans montagnards du Nord Cameroun : les monts Mandara*. Orstom, Paris, 253p.
- Hiol-Hiol F., Ndoum Mbeyo D., Tchala Abina F., 1996.** Les techniques traditionnelles de CES dans les monts Mandara (Cameroun). In « *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique* ». Ed Sc. C. Reij et al in CTA, CDCS, Karthala.
- Hiol-Hiol F., Mietton, M. 1997.** Fonctionnement hydrologique et rendement agronomique des terrasses des monts Mandara (Nord Cameroun) : des comparaisons à différentes échelles spatiales entre systèmes agraires traditionnels et améliorés. In : *F. Bart, S. Morin et J.-N Salomon (éds), Les montagnes tropicales : identités, mutations, développement. Collection Espaces Tropicaux, 16 : 323 – 354*, Pessac.
- Léonard M., Dumas C., 2002.** Diversité et fonctionnalités des aménagements de versant : exemple des terrasses ardéchoises. *Bull. Réseau Erosion, 21* : 182-195.
- Louléo J., 1997.** *Emigration des Kirdi des monts Mandara ; le cas des Mafa de Soulédé*, Thèse de doctorat 3^{ème} cycle, Université de Yaoundé I, 164 p.
- Morin S., 1998.** Géomorphologie. In : *Atlas de la Province Extrême Nord Cameroun* : 1-49, C. Seignobos, O. Iyebi Mandjek eds.
- Naimi Mustapha, Bachard Bouamar, 2002.** Aménagements traditionnels dans une vallée du haut Atlas Occidental, Maroc. *Bull. Réseau Erosion, 21* : 82-93.
- Roose E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Sols FAO, Rome, 70*: 420 p.
- Roose E., Boutrais J. et Boli Baboulé Z., 1998.** *Rapport d'évaluation fertilisation des sols du projet DPGT (Développement Paysannal et Gestion de Terroirs) au Nord-Cameroun, Orstom-Cirad, Montpellier, 72 p.*
- Sabir M., Roose E., Merzouk A., Nouri A., 1999.** Techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte antiérosive dans deux terroirs du Rif occidental (Maroc). *Bull. Réseau Erosion, Montpellier, 19* : 456-471.
- Seignobos C., 1993A.** . « L'évolution des parcs arborés des monts Mandara (Nord Cameroun), 16 p. in *Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest*. Symposium, Ouagadougou, 25-27 octobre 1993. IGRAF-CILSS-LTC)
- Seignobos C., 1993 B.** *Hardé et Karal du Nord-Cameroun, leur perception par les populations agro-pastorales du Diamaré*, pp.9-28 in Peltier R., éd. Sc. "Les terres Hardé, caractérisation et réhabilitation dans le bassin du Lac Tchad", Cahiers Scientifiques du Cirad-Forêt N° 11, 121 p., Nogent sur Marne.
- Seignobos C., 1997.** "Maîtrise de l'eau et Contrôle de l'érosion, l'exemple mafa (Nord-Cameroun)" pp. 351-365 in *L'Homme et l'eau dans le bassin du lac Tchad*, H. Jungrathmayr, D. Barreteau, U. Seibert (eds).
- Seignobos C., 1998.** "Pratiques antiérosives traditionnelles au Cameroun : l'élaboration des terrasses des monts Mandara et la récupération des terres hardé", pp. 35-37 in *Orstom actualités* N° 56, spécial érosion, 41 p.
- Vaillant A., 1948.** *L'érosion du sol dans le massif du Mandara*. Douala, 15 p.

Influence du labour, du semis direct et du type de sol sur le stock de carbone, les pertes en terre et les rendements d'une rotation intensive (coton/maïs) au Mali Sud

DIALLO Drissa, ORANGE Didier, ROOSE Eric

Courriels : drdiallo@ird.fr , orange@ird.fr, Eric.Roose@ird.fr,

Résumé

Au Mali l'intensification de la rotation coton-maïs a favorisé une baisse de fertilité et l'érosion des sols. Dans ce contexte, l'étude de l'impact des nouvelles techniques sur les sols et les rendements des cultures a été conduite en 1998 et 1999 sur 17 parcelles d'érosion (100 à 1000 m²) en zone soudanienne. Les coefficients de ruissellement, faibles sous jachère (22%) atteignent 25 à 45% sous culture (ils sont plus élevés sous labour). L'érosion décroît de 25 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur sol nu, à 18 sur labour, 6,6 sur semis direct sous litière (SDL) et 3,3 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur jachère. Les pertes en carbone sur sol ferrugineux rouge varient de plus de 400 kg.ha⁻¹.an⁻¹ (labour) à moins de 150 kg.ha⁻¹.an⁻¹ (SDL et jachère). Elles sont respectivement 250 kg.ha⁻¹.an⁻¹ et moins de 150 kg.ha⁻¹.an⁻¹ sur sol brun vertique. Les flux de carbone particulaire à la sortie des parcelles cultivées sont 30 à 80 fois plus forts que dans le fleuve Niger, suite au piégeage dans le paysage. L'effet des techniques sur les rendements des cultures semble dépendre du type de sol et de la quantité de pluie. Les tendances sur le court terme ne sont pas nettes. A long terme, le semis direct sous litière devrait améliorer le sol et sa productivité en Afrique occidentale.

Mots clés : Mali Sud ; Ruissellement, Erosion, Labour, Semi direct sous litière, Pertes de Carbone

Abstract: The impact of tillage, direct sowing and soil type on the carbon stock and soil erosion among an intensive rotation (cotton/corn) in Southern Mali

In Mali the intensification of rotation including cotton and corn induced soil and environmental degradation. In this context, the impact of the new techniques on soil and crops yield was measured in 1998 and 1999. Experimentation on 17 plots (100 to 1000 m²) on red ferruginous soil and brown vertic soil of Djitiko watershed (12° 03' N, 8° 22' W) made it possible to compare fallow, conventional tillage and direct sowing under litter (SDL). The runoff, 22% under fallow, is about 25 to 45% on cultivated plots (values are higher under tillage). Soil erosion decrease from 25 t.ha⁻¹.yr⁻¹ on bare soil, to 18 on tillage, 6,6 on SDL and 3,3 t.ha⁻¹.yr⁻¹ on fallow. Carbon losses vary according soils, land use and techniques: more than 400 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ (tillage) to less than 150kg.ha⁻¹.yr⁻¹ (SDL and fallow) on red soil and respectively 250 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ and less than 150 kg.ha⁻¹.yr⁻¹ on brown vertic soil. Particulate carbon flows at the exit of the cultivated plots are 30 to 80 times stronger than in the Niger river, according trapping into the landscape. Techniques impact on crops yield seems to depend on soil type and rainfall. The tendencies on the short term are not clear. In the long run, the direct sowing under litter should improve soils and their productivity in Western Africa.

Key words: Southern Mali; Runoff, Erosion, Tillage, drilling under litter, Carbon losses by erosion

1. Problématique

Le programme cotonnier au Mali, à partir des années 1970, a concerné plus de 135 000 km² et plus de 2,5 millions d'habitants. Il a permis l'intensification des cultures (coton et maïs en particulier). La mécanisation (avec traction animale), proposée aux agriculteurs, a favorisé l'extension des superficies cultivées, la réduction de la durée des jachères et le surpâturage. En conséquence depuis 1980, d'importants bouleversements environnementaux sont observés et les agriculteurs se plaignent de l'ampleur du ruissellement, de l'érosion et de la baisse de fertilité des sols. Ces constats ont justifié, au cours des campagnes agricoles 1998 et 1999, des études expérimentales du ruissellement et de l'érosion des sols (Diallo, 2000 ; Diallo et al, 2004). Elles ont principalement visé la comparaison de l'impact des techniques culturales (labour conventionnel, travail minimum du sol ou semis direct sur litière) sur l'érosion, le stock de carbone du sol et les rendements des cultures.

2. Milieu d'étude et méthodes

L'étude a été conduite dans le bassin versant de Djitiko (12°03'N, 8°22'W), couvrant 103 km² dans le haut bassin du Niger (figure1). La pluviosité moyenne annuelle à Kangaba (station de référence) est 1076mm pour la période 1935- 1995. Le petit bassin versant se repartit entre quatre principales couvertures pédologiques (figure2). Pour comparer l'impact de l'occupation du sol et des pratiques culturales, les expérimentations sont conduites sur des parcelles de 100 à 1000 m², de pentes modérées (1 à 3%) :

- parcelle nue (risque potentiel maximum.) ;
- rotation coton-maïs sur parcelle labourée ;
- coton-maïs sur parcelle de travail minimum du solo ou semis direct sur litière d'adventices herbicides
- jachère de plus de 20 ans (risque minimum).

Ces parcelles sont principalement localisées sur un sol ferrugineux tropical rouge argilo-sableux acide (Kaolinite), désigné ici par S1 et sur un sol brun vertique (Beidellite) beaucoup plus riche, désigné par S2.

La caractérisation des états de surface, à l'intérieur des parcelles expérimentales est faite selon les techniques définies par Roose (1996) et en insistant en particulier sur la couverture et l'ouverture du sol. Le stock de carbone est évalué pour l'horizon superficiel (0-10 cm) à partir de sa concentration en carbone et sa densité apparente. Les mesures de ruissellement et d'érosion sont faites de façon classique sur parcelles isolées. Les pertes en carbone sont évaluées à partir des sédiments et eaux de ruissellement.

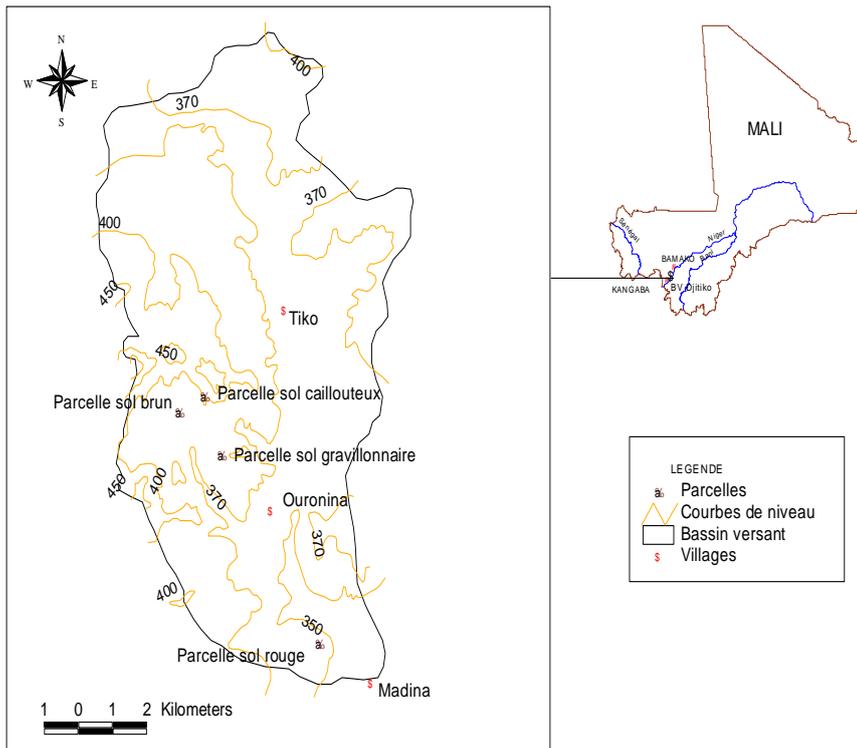


Figure 1: Situation géographique du bassin versant de Djitiko

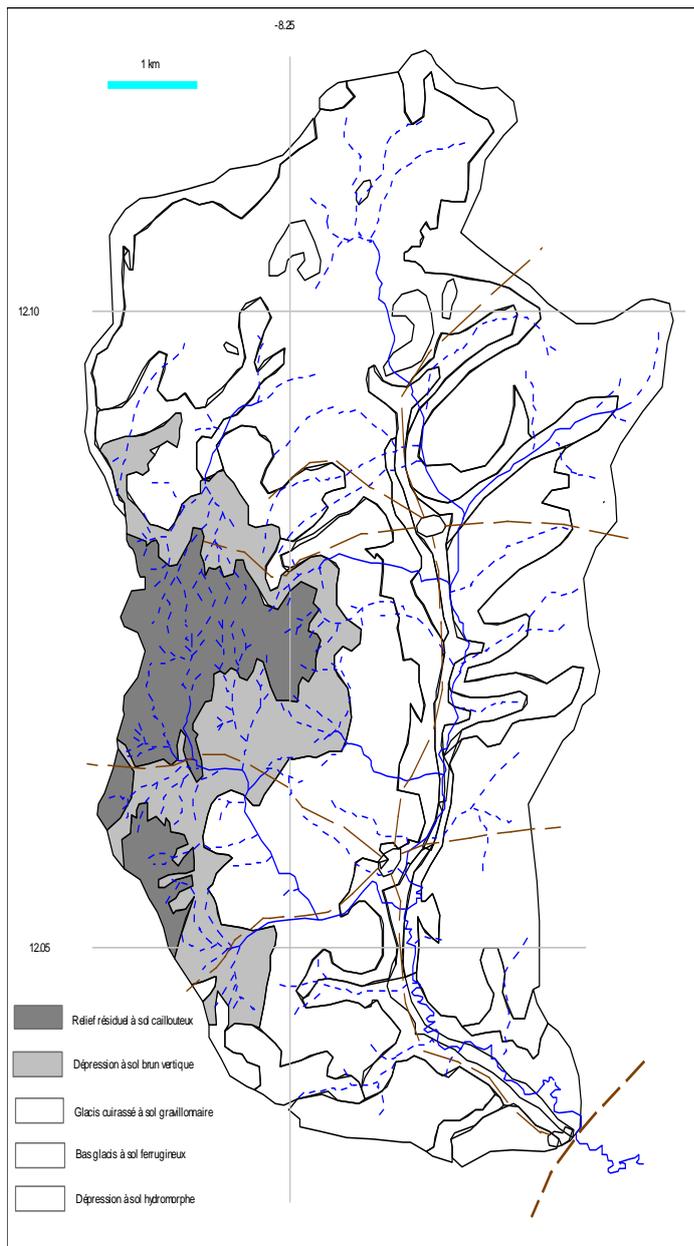


Figure 2 : Carte morphopédologique du bassin versant de Djitiko

3. Résultats

3.1 Impact de l'occupation du sol et des pratiques agricoles sur les états de surface

Les indicateurs d'état de surface utilisés ici (la couverture du sol par la végétation et la litière, l'ouverture du sol) sont variables au cours de l'année, en fonction du type de sol, de son occupation et des techniques culturales (tableau 1 et figure 3).

La couverture du sol dans la jachère, est légèrement plus élevée sur sol brun vertique que sur sol rouge, respectivement 41% et 34 % en début de saison pluvieuse, au mois

de mai. Ces taux de recouvrement sont au moins multipliés par deux à partir de juillet. Les parcelles cultivées sont presque nues en début de saison des pluies, mais elles présentent dès la moitié de la saison des taux de recouvrement de l'ordre de 80 à plus de 90 % sur sol brun et de 60 à 90 % sur sol ferrugineux rouge. Le taux de couverture est toujours meilleur sous semis direct que sous labour. Les différences sont 8% sur sol brun et 3 % sur sol rouge en début de saison, et respectivement 16% et 27% pendant le reste de la saison.

Tableau 1: Dynamique de recouvrement du sol sur parcelles expérimentales (bassin versant de Djitiko)

Occupation du sol et pratique culturale	Début de saison				Milieu- fin de saison			
	Nu	Litière	végétation	Recouvrement	Nu	Litière	végétation	Recouvrement
JS1	65	31	3	34	26	16	58	74
JS2	59	31	10	41	18	13	69	82
LS1	92	8	0	8	36	26	38	64
LS2	87	11	2	13	18	21	61	82
SDLS1	89	7	4	11	9	39	52	91
SDLS2	79	16	5	21	2	29	69	98

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique)

J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

Les taux d'ouverture du sol, fonction du type de sol, de son occupation et des pratiques culturales, sont faibles en début de saison pluvieuse et deviennent nettement plus importants par la suite (figure 3).

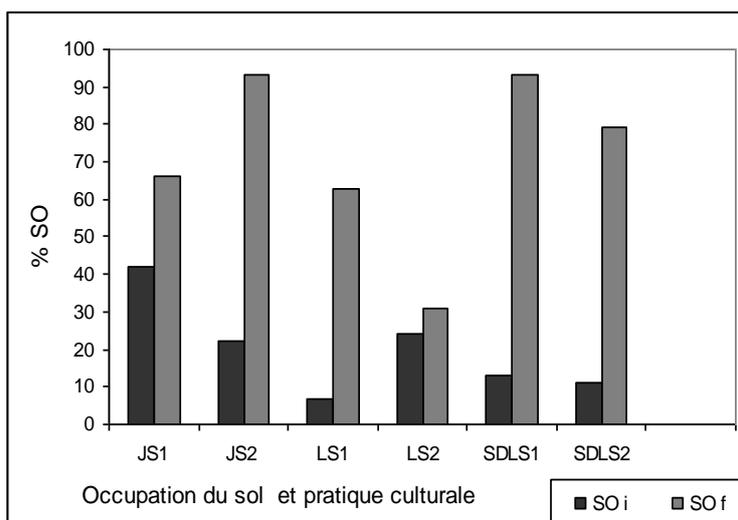


Figure 3 : Dynamique des surfaces ouvertes sur parcelles expérimentales (bassin versant de Djitiko)

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ;

J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol) ; SO : surface ouverte ; SOi : taux initial d'ouverture (début de saison pluvieuse) ; SOf : taux final d'ouverture (fin de saison pluvieuse).

3.2. Impact des pratiques agricoles sur le stock de carbone du sol

Dans toutes les situations étudiées, le sol brun vertique montre des stocks de carbone plus importants que le sol ferrugineux tropical. Les valeurs moyennes mesurées sous jachère sont respectivement $42,7 \text{ t ha}^{-1}$ et $14,3 \text{ t ha}^{-1}$. En milieu cultivé le travail minimum du sol ou SDL montre toujours un stock de carbone supérieur à celui mesuré sous labour (tableau 2).

Tableau 2 : Usage des sols et stock de carbone dans couche (0-10 cm) du sol (t.ha^{-1}) dans le bassin versant de Djitiko

Occupation du sol et pratique culturale	JS1	JS2	LS1	LS2	SDLS1	SDLS2
Stock de carbone	14,3	42,3	9,2	41,9	11,3	59,2

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique)

J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

3.3. Ruissellement mesuré

Il faut préciser qu'au cours de la période de mesure les pluies ont été déficitaires (995 mm) en 1998 et excédentaires (1355 mm) en 1999. Les coefficients de ruissellement annuels moyens mesurés sur parcelles sont montrés à la figure 4. Ils sont variables en

fonction du type de sol et surtout de son occupation et de la pratique agricole. Dans tous les cas, les coefficients de ruissellement sous jachère (22%) sont inférieurs à ceux mesurés sur parcelles cultivées (25 à 45%). La différence entre le labour (qui ruisselle plus) et le semis direct est de 20% sur sol ferrugineux tropical et de 3% sur sol brun vertique.

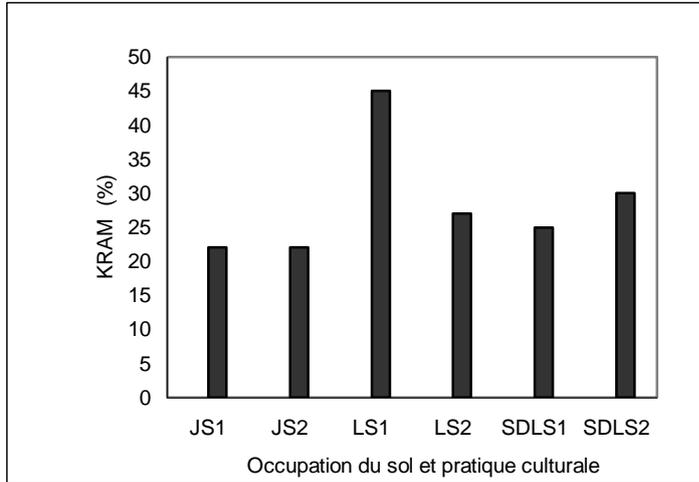


Figure 4 : Usage des sols et ruissellement dans le bassin versant de Djitiko (mesure sur parcelles expérimentales en 1998 et 1999)

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ; J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol) ; KRAM : coefficient de ruissellement annuel moyen

3.4. Pertes en terre

Les pertes en terre mesurées, montrées à la figure 5, sont de l'ordre de 25 à 30 t.ha⁻¹.an⁻¹ sur parcelles nues (NS1 et NS2). Elles sont faibles sous jachère et assez importantes sur parcelle labourée. On note bien que le travail minimum du sol ou le semis direct sous litière permet de maintenir l'érosion annuelle à un niveau faible.

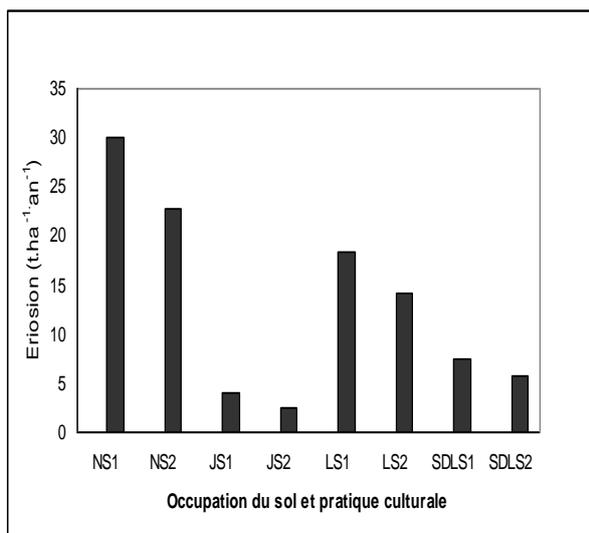


Figure 5: Usage des sols et perte en terre dans le bassin versant de Djitiko (mesure sur parcelles expérimentales en 1998 et 1999)

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ; N : parcelle nue ; J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

3.5 Pertes en carbone

Les pertes totales en carbone varient de plus de 400 kg.ha⁻¹.an⁻¹ sur sol ferrugineux tropical labouré à moins de 150 kg sous SDL et vieille jachère, et de 250 kg. ha⁻¹.an⁻¹ sur sol brun labouré à moins de 150 kg sous jachère et SDL. Les teneurs en carbone soluble dans les eaux du fleuve Niger sont du même ordre que celle des parcelles mais par contre les teneurs en carbone solide sont 20 à 40 fois plus faibles dans les eaux du fleuve que dans le ruissellement au bas des parcelles.

3.6. Rendements des cultures

Les rendements du maïs et du coton graine sont respectivement montrés aux figures 6.1 et 6.2. Sur sol ferrugineux tropical, le rendement du maïs est nettement meilleur sur parcelle labourée que sur parcelle de semis sur litière. Par contre sur sol brun vertique, les deux pratiques culturales donnent des rendements très peu différents. Les rendements de coton graine sur sol brun vertique sont meilleurs avec le semis direct sous litière.

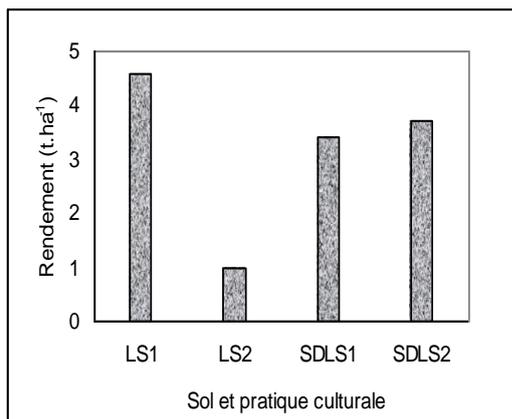


Figure 6.1 : Rendements du maïs sur parcelles expérimentales

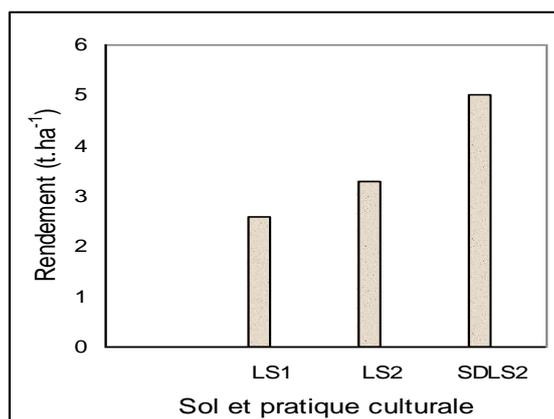


Figure 6.2 : Rendements du coton graine sur parcelles expérimentales

S1 : Sol 1 (Sol ferrugineux tropical rouge) ; S2 : Sol 2 (Sol brun vertique) ; N : parcelle nue ; J : jachère ; L : labour ; SDL : semis direct sous litière (travail minimum du sol)

4. Discussion

4.1. Les états de surface et leur évolution

La faible couverture des sols en début de saison pluvieuse s'explique en grande partie par les modes actuels de gestion du milieu, en particulier la pratique annuelle des feux de brousse qui brûlent la presque totalité des biomasses herbacée et détritique, l'exportation des résidus de récolte (prélèvement pour divers besoins domestiques, pâture par les bovins). Ces pratiques ont deux conséquences graves sur les sols :

- difficulté de maintien et encore moins d'amélioration des taux de carbone et de matière organique dans le sol ;
- augmentation du risque d'érosion, les sols étant exposés à l'action violente de l'harmattan pendant la saison sèche et aux violentes pluies de début saison.

La nette augmentation des taux de couverture en pleine saison, quelque soit le sol et son occupation, s'explique par les bonnes conditions hydriques. Sur parcelle cultivée, le taux de couverture est légèrement supérieur avec le semis direct qu'avec le labour du fait de la gestion améliorée des adventices avec la première technique. En comparaison avec la jachère, l'apport d'engrais minéraux aux cultures accroît la production de biomasse et atténue l'effet de la dégradation relative des propriétés des sols en milieu cultivé.

Les différences de caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques entre les deux types de sol et leur comportement spécifique sous culture semblent expliquer les différences de recouvrement observées quelque soit la période de mesure. La bonne structure, les meilleurs teneurs en matière organique et en bases favorisent le sol brun.

En ce qui concerne le taux de surfaces ouvertes, la situation sous jachère en début de saison pluvieuse, semble dépendre de deux facteurs : la fissuration par dessiccation des argiles et surtout l'activité faunique. Une forte activité faunique (actions des termites et autres insectes, des vers et des rats), nettement visible sur le sol ferrugineux rouge expliquerait la meilleure ouverture de ce sol en cette période. Au cours de la saison pluvieuse, l'ouverture du sol sous jachère semble être d'autant plus importante que le couvert herbacé est développé, d'où un meilleur comportement du sol brun vertique. Pendant cette période, les parcelles de semis direct montrent plus d'ouverture, ce qui est lié à une meilleure accumulation de biomasse détritique.

4.2. Stockage du carbone

Les meilleurs stocks de carbone enregistrés sous jachère et sur parcelle de semis direct (SDL) peuvent s'expliquer par des raisons différentes (Diallo et al, 2007). La jachère correspond à une plus longue période d'accumulation et de décomposition des débris végétaux. Concernant la parcelle de semis direct, elle est le siège d'une très forte activité faunique liée à l'accumulation de mulch suite à l'herbicidage de début de saison. Par ailleurs, sur cette parcelle les cultures bénéficient de fertilisation minérale favorisant une forte production de biomasse végétale. Concernant l'influence du type de sol, les faibles stocks du sol ferrugineux rouge pourraient s'expliquer par sa fraction argileuse qui est de la kaolinite à faible capacité d'échange ionique.

4.3. Ruissellement et érosion des sols

La différence de sensibilité des deux types de sol au ruissellement est clairement mise en évidence par les coefficients mesurés. Le sol ferrugineux tropical qui montre les plus forts coefficients de ruissellement semble être le plus sensible à la réorganisation superficielle (matériau riche en limon, plus de 50 % du matériau superficiel) défavorable à l'infiltration. Les faibles valeurs de la pluie d'imbibition (13 mm à l'état sec et 6 mm à l'état humide) notées sur ce sol (Diallo et al, 2005) sont indicatives dans ce sens. La forte perméabilité du sol brun en début de saison, probablement en rapport avec sa forte fissuration, permet d'expliquer en partie les relatifs faibles coefficients de ruissellement. Pour ce qui est de l'augmentation du ruissellement avec le labour, elle peut s'expliquer par la forte réorganisation superficielle (développement rapide de croûtes et pellicules). Quant à la diminution du ruissellement avec le travail

minimum du sol, elle est favorisée aussi par un effet "état de surface" : présence du mulch, stimulateur de l'activité biologique et de l'ouverture du sol.

La faible perte de terre qui est enregistrée sous jachère est tout à fait normale, conforme aux connaissances acquises sur l'érosion des sols. Cependant l'érosion mesurée ici (plus de $3 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$) sous jachère, sur sol ferrugineux est supérieure aux valeurs données dans la littérature relative à la zone soudanienne : par exemple les mesures faites par Roose au cours des années 1970 (Roose, 1977). A ce sujet, on peut rappeler qu'en Afrique tropicale, les pratiques de jachère sont très variées (Nkamleu et al, 2000) et cela peut favoriser une diversité de caractéristiques biologiques et de fonctionnements géodynamiques. Sur un autre plan, les érosions mesurées sous jachère semblent surprendre vu les modes de gestion de la biomasse, discutés plus haut. Les fortes pertes en terre, enregistrées sur parcelles labourées montrent bien que cette pratique expose le sol à l'érosion, un constat déjà noté par de nombreux chercheurs (Boli et Roose, 2004). Il faut noter que le labour ne permet pas le maintien d'un bon état de surface et favorise l'érosion. A l'opposé, le travail minimum du sol (SDL) favorise l'accumulation de mulch à la surface du sol d'où une meilleure protection contre l'énergie cinétique des pluies et de ruissellement et enfin une protection du sol contre l'érosion.

4.4. Flux de carbone

La nette prépondérance du carbone particulaire dans les pertes mesurées à l'échelle parcellaire montre bien que le carbone est principalement entraîné avec les fractions granulométriques du sol. Ces flux de carbone particulaire à l'échelle des parcelles cultivées étant 30 à 80 fois plus forts que ceux mesurés dans le fleuve, on admet qu'il y a piégeage de terre organique dans les dépressions et vallées. Les sols des pentes s'appauvrissent par érosion tandis que les sols des plaines s'enrichissent en terre fine et en matière organique.

4.5. Rendements des cultures

La comparaison des effets du labour et du semis direct sur les rendements des cultures reste une question complexe. Sur ce point, les influences probables de la quantité annuelle de pluie et du type de culture ont été signalées à propos du nord Cameroun (Diallo et al, 2005). Les résultats sur sol brun vertique de Djitiko montrent que les effets de ces techniques semblent dépendre aussi du type de sol.

5. Conclusion

La pratique du semis direct sous litière s'est montrée efficace pour réduire le ruissellement, l'érosion, y compris les pertes en carbone : c'est moins net pour la production des cultures mais cela pourrait s'améliorer avec le temps. En effet le semis direct qui conduit à une augmentation du stock de carbone dans l'horizon humifère des sols argilo-limoneux testés est presque aussi efficace que la jachère pâturée. La richesse chimique des sols testés et leur résistance à l'érosion dépendent à la fois de la texture et du type d'argile, du stock de matière organique et de la litière couvrant le sol en permanence. Ces deux années d'expérimentation ont montré que le labour est responsable d'une grande perte de carbone par érosion et surtout par minéralisation de l'humus : cependant la poursuite des expérimentations est souhaitable en fonction de l'importance des variations climatiques. Les pertes de carbone soluble sont comparables de la parcelle d'érosion au fleuve Niger : toute la matière organique soluble est donc exportée. Par contre, les rivières n'exportent que 1 à 3% des

matières érodées particulières, l'essentiel de cette fraction restant piégé dans le paysage (micro dépressions et zones d'épandage des colluvions et des alluvions). A long terme, le semis direct sous litière devrait améliorer le sol et sa productivité en Afrique occidentale si on arrive à supprimer les feux de brousse et la pratique de la vaine pâture (deux pratiques qui dégradent actuellement la couverture).

6. Références bibliographiques

Boli Z. , Roose E.(2004). Effets comparés du labour classique et du non labour sous litière sur le fonctionnement de deux sols ferrugineux tropicaux sableux à Mbissiri, Nord Cameroun, Bull. Réseau érosion 23 : 431-437

Diallo D. (2000). Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger). Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble : 202 p

Diallo D., Boli.,Z., Roose E. (2007). Influence of No-Tillage on soil conservation, carbon sequestration and yield of Intensive rotation Maize-cotton: Research on Sandy Alfisols of Cameroon an Mali. World Association of Soil and Water Conservation, special publication NO.3, 383-392

Diallo D. , Boli Z. , Roose E (2005). Labour ou semis direct dans les écosystèmes soudano sahéliens (cas du Cameroun et du Mali). Actes des Journées scientifiques du Réseau Erosion et GCES de l'AUF. pp 181-188

Diallo D., Barthès B., Orange D., Roose E. (2004). Comparaison entre stabilité des agrégats ou des mottes et risques de ruissellement et d'érosion en nappe mesurés sur parcelles en zone soudanienne du Mali. Sécheresse, 15, 1, 57-64.

Nkamleu G.B., Kamajou F., Gockowski J.(2000) La pratique de la jachère en Afrique tropicale. Caractérisation comparée au Nigeria et au Cameroun *In La jachère en Afrique Tropicale- Ch. Floret, R. Pontanier John Libbey Eurotext. Paris 2000. pp 1-5*

Roose E. (1996). Méthode de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes, Bull. Réseau érosion 16 : 87-97

Roose E. (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt ans de mesure en petites parcelles expérimentales. Editions ORSTOM, Paris : 107p.

Evaluation des effets de systèmes de semis direct à couverture végétale pérenne (SCV) sur l'érosion hydrique et la production agricole sur les Hautes-Terres de Antsirabe (Madagascar)

Razafindramanana Norosoa Christine⁽¹⁾, Douzet Jean-Marie⁽²⁾, Barthès Bernard⁽³⁾, Rabeharisoa Lilia⁽¹⁾, Albrecht Alain⁽¹⁾

- (1) LRI/SRA (Laboratoire des Radio Isotopes - Service Radio Agronomie), Université d'Antananarivo et Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Route d'Andraisoro, BP 3383, 101 Antananarivo - Madagascar.
- (2) CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement)- PERSYST (Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux), URP-SCRiD (Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et de Riziculture Durable), BP 230 Antsirabe 110 - Madagascar.
- (3) IRD, UMR 210 Eco&Sols (Unité mixte de Recherche Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols)-INRA-IRD-Montpellier SupAgro -2 Place Pierre Viala (Bât.12), F-34060 Montpellier Cedex 1 - France.

Résumé

Cette étude vise à tester l'effet de systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) pour contrôler l'érosion hydrique et améliorer le rendement de cultures pluviales sur versant des Hautes-Terres de Madagascar. L'essai a été entrepris sur un dispositif expérimental d'érosion à Andranomanelatra, sous pluies naturelles. Le dispositif comporte plusieurs traitements en SCV et en labour conventionnel (bêchage à l'angady) ainsi qu'un témoin avec sol nu et un autre en jachère herbacée spontanée. Pendant quatre campagnes, des mesures du ruissellement, des pertes en terre, de la hauteur de la pluie et de son intensité maximale ont été effectuées à chaque événement pluvial érosif. Des mesures de rendements ont également été réalisées à la fin de chaque campagne culturale.

Dans le contexte étudié, les résultats obtenus ont confirmé l'effet positif du système SCV sur la réduction du ruissellement et de l'érosion. Les ruissellements sur les parcelles labourées et sur la parcelle nue sont respectivement huit et quatorze fois plus élevés que sur les parcelles SCV. Les pertes en terre sur les parcelles labourées et la parcelle nue sont respectivement de 7,6 et 22,1 t/ha/an alors que sur les parcelles SCV, elles sont d'environ 0,13 t/ha/ an.

En général, les rendements en maïs et en riz pluvial obtenus sur les parcelles labourées et en SCV sous couverture morte ne diffèrent pas significativement. Mais les rendements en maïs et riz pluvial sont significativement plus faibles en SCV avec couverture vivante de *Brachiaria ruziziensis* que pour les parcelles labourées. En revanche, le rendement moyen en haricot est nettement et significativement plus élevé sur les parcelles SCV que sur les parcelles labourées.

Mots clés : semis direct, couverture du sol, labour, ruissellement, érosion, Madagascar

Introduction

Les Hautes-Terres malgaches sont connues pour les risques d'érosion hydrique (PCS, 1997). Les versants des collines à vocation agricole, appelés localement tanety, sont les plus touchés. Ils portent généralement des ferralsols désaturés avec une teneur en matières organiques peu élevée (Rabeharisoa, 2004). La pluviosité importante durant plus de six mois, la pratique du labour traditionnel répétée, sur une pente plus ou moins forte, et la faible utilisation des intrants agricoles contribuent à favoriser le phénomène d'érosion. Pour protéger les sols de versants, des techniques mécaniques antiérosives et des dispositifs biologiques de conservation des sols ont été proposés : bandes enherbées, terrasses en gradins, fossés d'infiltration et/ou de diversion, jachères améliorées, paillages, murettes, haies. Or, la dégradation de la production et l'érosion se poursuivent.

La question générale qui se pose est de gérer autrement les sols de tanety. Les pratiques d'intensification écologique peuvent apporter une réponse à ce questionnement, en particulier les systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale permanente ou SCV. Ces systèmes ont été introduits à Madagascar par le CIRAD au début des années 1990 (AFD, 2006 ; Husson & Rakotondramanana, 2006). Ils suivent trois principes fondamentaux : l'absence de travail du sol, la présence en permanence de couverture végétale, et une rotation culturale judicieuse (AFD, 2006). Le SCV contrôlerait fortement l'érosion hydrique (Séguy *et al.*, 1996), du fait notamment de la présence de couverture morte ou vivante, qui diminue le ruissellement et l'érosion. La forte production de biomasse, issue de la restitution des résidus de cultures laissés en surface, permet un enrichissement en matière organique de l'horizon superficiel du sol (Six *et al.*, 2002). Cette matière organique participe au maintien de la structure du sol et améliore la pénétration de l'eau en profondeur (Jiao *et al.*, 2006).

Le SCV permettrait donc de contrôler l'érosion hydrique et de restaurer la fertilité des sols, et par voie de conséquence, améliorerait la production agricole. La présente étude est bâtie sur cette hypothèse. Elle a pour objectif principal de tester l'effet du SCV sur l'érosion hydrique et la production agricole dans la région du Vakinankaratra, sur les Hautes-Terres de Madagascar.

Matériel et Méthodes

Site d'étude

L'expérimentation a été conduite à Andranomanelatra, près d'Antsirabe, Région du Vakinankaratra, Hautes-Terres de Madagascar, à une altitude de 1640m, sous pluies naturelles. Le climat est de type tropical d'altitude à deux saisons : (1) un été chaud et humide, d'octobre à avril, durant lequel les précipitations sont abondantes, avec parfois des passages de cyclones qui peuvent être exceptionnellement agressifs ; et (2) un hiver austral, sec et frais, de mai à septembre, avec des précipitations occultes sous forme de rosées, de brouillards, avec parfois des risques de gel. La température et la pluviosité moyennes annuelles sont respectivement de l'ordre de 17°C et 1400 mm.

Le sol est de type ferrallitique argileux, variante andique, avec un taux d'argile souvent supérieur à 60%, des pH inférieurs à 5, une teneur moyenne en matière organique de 35 mgC.g⁻¹ de sol (à 0-20 cm), un rapport C/N de 12 à 14, une capacité d'échange cationique de 7 à 14 cmol.kg⁻¹ de sol, une teneur en macro-agrégats (> 0,2 mm) stables à l'éclatement dans l'eau (0-5 cm) élevée, de l'ordre de 670g.kg⁻¹ de sol (Rabeharisoa, 2004 ; Razafimbelo *et al.*, 2006).

Dispositif expérimental

Le dispositif a été installé en 2004 par le CIRAD et le Centre National de la Recherche Appliquée au développement Rural (FOFIFA), regroupés dans l'URP-SCRiD. Le terrain du dispositif est une ancienne jachère de six ans, il a été occupé par des végétations graminéennes, dont *Aristida sp* (Kifafa en malgache) et *Cynodon dactylon* (Fandrotrarana en malgache). Il est situé sur un versant exposé au nord, sur une pente variant de 10 à 13%.

Le dispositif comprend 20 parcelles élémentaires de 48 m² placées les unes à côtés des autres, groupées en quatre blocs de cinq traitements ; deux parcelles d'érosion, considérées comme témoins, l'une maintenue nue et l'autre en jachère herbacée naturelle.

Pour mesurer le ruissellement et l'érosion, quinze parcelles d'érosion (21 m²) ont été intégrées sur les parcelles élémentaires. Chaque parcelle d'érosion (**Figure 1**) est ceinturée par des tôles légèrement enfoncées dans le sol pour éviter les entrées d'eau de l'extérieur et les sorties des eaux de ruissellement de l'intérieur. Par le biais d'un exutoire-tuyau, les eaux ruisselées dans les parcelles d'érosion sont déversées directement dans des fûts collecteurs équipés de partiteurs 1/5 (Hudson, 1993 ; Roose, 1994). Une partie de chaque parcelle élémentaire n'est pas ceinturée de tôles, afin de réaliser des prélèvements et mesures sans perturber l'autre partie de la parcelle, où est caractérisée la dynamique de l'eau et des sédiments.

Traitements

Le dispositif expérimental comporte plusieurs systèmes en SCV ou en labour traditionnel (LAB) réalisé à l'aide de l'angady (sorte de bêche) jusqu'à 30 cm de profondeur. Pour évaluer l'effet du mode de gestion, dans l'ensemble des parcelles cultivées, les doses des intrants apportés sont les mêmes : fumier (5 Mg.ha⁻¹.an⁻¹) ; dolomie (0,5 Mg.ha⁻¹.an⁻¹) ; engrais minéral N₁₁P₂₂K₁₆ (0,3 Mg.ha⁻¹.an⁻¹) ; urée (0,1 Mg.ha⁻¹.an⁻¹).

Les cinq systèmes testés sont inspirés de ceux des paysans de la région du Vakinankaratra, et sont basés sur une rotation biennale comportant en première année le maïs (*Zea mays*) associé au haricot (*Phaseolus vulgaris*), et en deuxième année le riz pluvial (*Oriza sp*) en culture pure.

Les caractéristiques des systèmes testés sont les suivantes :

- LABexp : parcelles labourées à l'angady tous les ans, à partir de l'année 2006 les résidus de récoltes sont exportés des parcelles ;
- LABenf : parcelles labourées à l'angady tous les ans, mais les résidus des récoltes sont enfouis sur les parcelles ;
- SCVlab : parcelles labourées à l'angady en 2004, puis dès la campagne 2005-2006, le SCV à couverture morte est appliqué sur ces parcelles ;
- SCVm : parcelles SCV avec couverture végétale permanente morte, issue des résidus de récolte de l'année précédente ;
- SCVv : parcelles SCV avec couverture végétale permanente vivante de *Brachiaria ruziziensis* (graminée) ;
- NUE : parcelle témoin maintenue nue par un labour annuel et des sarclages réguliers ;
- JC : parcelle témoin entièrement couverte de végétation herbacée spontanée.

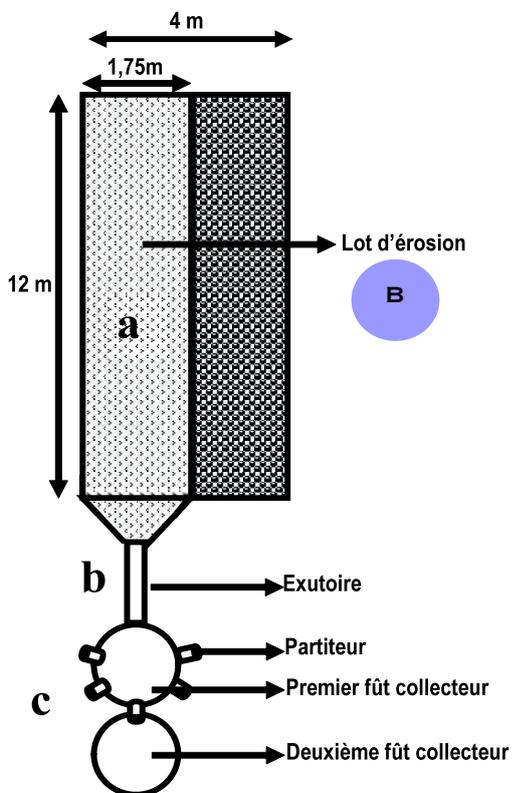


Figure 1. Une parcelle d'érosion (A et B) et station météorologique automatique CIMEL (C)
Prise de vues et croquis de Razafindramanana Norosoa C.

Mesures et prélèvements d'échantillons

Pendant quatre campagnes culturales consécutives, 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008 et 2008-2009, des mesures de la hauteur de la pluie, de son intensité maximale (en 6 minutes), du ruissellement et des pertes en terre ont été réalisées après chaque épisode pluvial érosif.

Hauteur et intensité maximale de la pluie

Sur la station météorologique automatique CIMEL (figure 1), installée à côté du dispositif expérimental, l'intensité maximale de la pluie en 6 minutes (mm.h^{-1}) et sa hauteur (mm) ont été enregistrées. L'intensité de la pluie correspond au pic maximal de pluie enregistré sur six minutes consécutives et ramené en mm.h^{-1} .

Ruissellement

Le ruissellement est calculé en mesurant la hauteur d'eau collectée dans les fûts, qui fournit le volume ruisselé (L). Le rapport entre le volume ruisselé et la superficie de la parcelle d'érosion (m^2) donne la hauteur ruisselée (mm). L'opération de mesure de ruissellement s'effectue avant le nettoyage des fûts. La hauteur de ruissellement est ensuite cumulée sur la campagne et rapportée à la hauteur de pluie pour calculer le taux de ruissellement (mm.mm^{-1}).

Pertes en terre

Les pertes en terre correspondent à la masse de sol exportée par le ruissellement pendant un épisode pluvial érosif pour une surface donnée (Mg.ha^{-1}). Elles sont déterminées à partir du rapport entre la quantité des sédiments recueillis dans les fûts et la superficie de la parcelle d'érosion. Les sédiments grossiers ont été récupérés en nettoyant le réceptacle, le tuyau, et en grattant le fond des fûts ; ils ont ensuite été pesés, puis une aliquote a été séchée à l'étuve puis pesée à nouveau pour estimer le poids sec des sédiments grossiers. Les sédiments fins en suspension ont été estimés en prélevant une aliquote de l'eau contenue dans les fûts, après homogénéisation (agitation). Sur les fûts pleins, des prélèvements ont été effectués au fond, au milieu et en haut (0,5 l de chaque), de telle sorte qu'une aliquote de 1,5 litre soit prélevée. Sur les fûts remplis à moitié, un prélèvement d'aliquote de 1,5 l a été réalisé au milieu du fût. L'aliquote de 1,5 l, considérée comme représentative des eaux du ruissellement, a été filtrée sur un papier filtre d'une porosité de $0,45 \mu\text{m}$. Le filtre a été séché à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Le rapport entre le poids de sédiments secs (grossiers et fins) et la surface d'une parcelle d'érosion donne les pertes en terre en Mg.ha^{-1} . Celles-ci sont ensuite cumulées sur la campagne.

Rendements agricoles

Le rendement agricole (Mg.ha^{-1}) a été déterminé à partir du poids de la matière sèche (MS) de la biomasse végétale recueillie sur une surface connue. Pour le maïs et le haricot, une récolte intégrale sur toutes les parcelles (48 m^2) a été effectuée, et le poids de la matière fraîche a été mesuré sur terrain. Les parties récoltables (grains) et non récoltables (pailles, feuilles, tiges, etc.) ont été pesées séparément. Une aliquote a été recueillie, et mise à l'étuve durant 72 heures à une température de 60°C . Le rapport du poids de la matière sèche et de la surface du prélèvement donne le rendement agricole. La même méthode a été appliquée pour la détermination du rendement en riz (grains vannés et paille), mais les deux lignes de bordure autour de chaque parcelle n'ont pas été prises en compte. Dans ce cas, la surface du prélèvement s'est trouvée réduite à 36 m^2 .

Traitement des données

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel XLSTAT. Elles ont été comparées entre elles par le test de Tukey (test de comparaisons multiples pour la variable Moyenne). Pour l'acceptabilité ou le rejet de l'hypothèse nulle (H_0), le seuil de probabilité a été fixé à 5 %.

Résultats

Caractéristiques des pluies

Les caractéristiques annuelles des pluies, hauteur et intensité maximale, sont présentées dans le tableau 1. L'observation mensuelle du cumul de la pluie montre que la période la plus arrosée se situe généralement entre décembre et janvier, durant laquelle les précipitations sont abondantes et fréquentes. Pendant ces deux mois, le cumul des pluies peut dépasser 500 mm (515 mm en 2007-2008) voire 1000 mm (1005 mm en 2006-2007). L'analyse de la pluviosité annuelle durant quatre ans montre une alternance entre une année humide et une année moins arrosée : 2006-2007 et 2008-2009 sont considérées comme des années humides, la précipitation moyenne durant la saison des pluies s'élevant à 1530 mm ; 2005-2006 et 2007-2008 sont des années moins arrosées, où la précipitation moyenne pendant la saison des pluies est de 1065 mm.

L'intensité de la pluie varie également en fonction de l'année. La saison des pluies 2008-2009 se distingue des autres. Ainsi, l'intensité de la pluie moyenne (32 mm.h^{-1}) et le nombre des événements pluviaux érosifs (60 jours) sont plus importants par rapport aux autres années.

Tableau 1. Bilan des caractéristiques des pluies durant les quatre années de mesures.

Année	Hauteur de la pluie										Intensité de la pluie			Nbr jours de pluie	Nbr pluies érosives*
	-----mm-----										-----mm.h ⁻¹ -----				
	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Total	Max	Min	Moy		
2005-06	0	108	462	118	107	209	67	0	0	1070	150	5	25	95	40
2006-07	25	155	306	699	206	83	51	17	0	1540	115	5	21	121	53
2007-08	3	189	278	238	185	111	44	13	0	1059	105	5	19	116	40
2008-09	129	228	248	336	227	224	114	0	15	1520	170	5	32	117	60

Max : maximale ; Min : minimale ; Moy : moyenne.

* L'analyse des données pluviométriques durant quatre ans indique que les pluies érosives sont celles ayant une intensité maximale supérieure à 10 mm.h^{-1} et une hauteur supérieure à 7mm.

Ruissellement et pertes en terre

Le ruissellement et les pertes en terre varient selon le mode de gestion (tableau 2). Le ruissellement annuel moyen sur les parcelles labourées (LABexp et LABenf) et sur la parcelle nue (NUE) est respectivement huit fois (8%) et quatorze fois (14%) supérieur à celui des parcelles SCV (1%). Le ruissellement annuel moyen est plus faible sur SCV que sur jachère naturelle (JC : 2 %).

La différence de pertes en terre entre système labouré et SCV est également significative. Les moyennes obtenues indiquent clairement que les pertes en terres annuelles moyennes sur les parcelles labourées (7,6 t/ha/an) et la parcelle nue (22,1 t/ha/an) sont plus élevées par rapport aux parcelles SCV (0,13 t/ha/an). Les pertes en terre sur la parcelle sous végétation spontanée herbacée sont les plus faibles (0,04 t/ha/an).

L'analyse des données entre les systèmes SCV indique que le ruissellement annuel ne diffère pas significativement sur les parcelles SCVlab, SCVm et SCVv. Les pertes en terre annuelles sont significativement plus élevées en 2005-2006 sur les parcelles SCVlab (labourées en début d'expérimentation) que sur les autres parcelles en SCV, mais la différence n'est plus significative ensuite. Par ailleurs, ruissellement et pertes en terre annuels ne diffèrent pas significativement entre types de labour (sauf les pertes en terre en 2006-2007, plus élevé avec exportation qu'avec enfouissement des résidus).

Tableau 2. Ruissellement et pertes en terre selon les modes de gestion et les campagnes.

Systèmes étudiés	Taux de ruissellement annuel mm.mm ⁻¹								Moyenne sur quatre ans
	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		
LABexp	0,08 ±0,01	a	0,04±0,01	a	0,07±0,03	a	0,12±0,01	a	0,08±0,03
LABenf	0,07 ±0,01	a	0,03±0,00	a	0,08±0,01	a	0,11±0,02	a	0,07±0,03
SCVlab	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,02±0,00	b	0,01±0,00
SCVm	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,02±0,00	b	0,01±0,00
SCVv	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00	b	0,01±0,00
NUE	0,10		0,15		0,12		0,19		0,14±0,04
JC	0,02		0,01		0,02		0,02		0,02±0,00

Systèmes étudiés	Pertes en terre annuelles Mg.ha ⁻¹								Moyenne sur quatre ans
	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		
LABexp	9,58 ± 1,82	a	2,70 ± 2,28	a	3,37 ± 1,04	a	15,28 ± 3,12	a	7,73±5,67
LABenf	9,44 ± 1,50	a	1,06 ± 0,32	ab	4,09 ± 0,84	a	15,25 ± 2,71	a	7,46±5,81
SCVlab	0,19 ± 0,03	b	0,12 ± 0,04	b	0,13 ± 0,04	b	0,28 ± 0,22	b	0,18±0,12
SCVm	0,07 ± 0,02	b	0,08 ± 0,03	b	0,12 ± 0,04	b	0,20 ± 0,11	b	0,12±0,08
SCVv	0,08 ± 0,03	b	0,06 ± 0,01	b	0,07 ± 0,04	b	0,10 ± 0,05	b	0,08±0,03
NUE	14,85		24,33		11,4		37,81		22,10±11,82
JC	0,08		0,04		0,02		0,03		0,04±0,03

Moyennes ± écart-types (n=3)

Une même lettre indique une absence de différence significative entre les systèmes étudiés pour une même campagne au seuil de 5% (p < 0,05) d'après le test de Tukey.

Rendements agricoles

Les résultats sont réunis dans le tableau 3.

Tableau 3. Rendements agricoles pour les systèmes étudiés durant quatre campagnes culturales.

Année	Culture	Rendement	Labour conventionnel			Semis direct		
			LABexp	LABenf	SCVlab	SCVm	SCVv	
2005-2006	Riz	Grains	1,47 ±0,49 a	1,26 ±0,47 a	1,05 ±0,46 ab	0,76 ±0,31 ab	0,29±0,16 b	
		Paille	3,53 ±0,42 a	2,53±0,53 b	2,18±0,31 bc	1,45±0,39 cd	0,56±0,29 d	
2006-2007	Maïs	Grains	1,69±0,54 ab	2,15±0,10 a	1,51±0,23 ab	1,70±0,21 ab	1,32±0,31 b	
		Paille	2,87±0,48 a	2,79±0,62 a	2,46±0,94 a	2,52±0,43 a	2,93±0,35 a	
	Haricot	Grains	0,48±0,20 b	0,47±0,17 b	0,83±0,09 a	0,86±0,06 a	<i>Brachiaria</i>	
		Paille	0,83±0,16 ab	1,05±0,16 a	0,56±0,08 b	0,88±0,15 a	<i>Brachiaria</i>	
2007-2008	Riz	Grains	1,47±0,10 ab	1,57±0,18 a	1,69±0,43 a	1,80±0,28 a	1,06±0,32 b	
		Paille	7,08±2,64 a	4,54±0,25 ab	5,23±0,85 ab	6,63±2,05 ab	3,28±1,01 b	
2008-2009	Maïs	Grains	2,54± 0,40 a	2,87± 0,34 a	2,90± 0,67 a	2,89± 0,26 a	2,54± 0,47 a	
		Paille	5,99± 0,87 a	7,04 ±0,65 a	7,15 ± 1,16 a	7,20 ± 0,40 a	6,61± 0,82 a	
	Haricot	Grains	0,33±0,05 c	0,42±0,10 bc	0,48±0,05 b	0,69±0,10 a	<i>Brachiaria</i>	
		Paille	0,48±0,08 c	0,60±0,13 bc	0,70±0,17 ab	0,83±0,12 a	<i>Brachiaria</i>	
2005-2006 au 2008-2009		Moyenne MS total	Parcelles labourées	2,21 ±1,94	Parcelles en SCV	2,17 ±2,01		

Moyennes ± écarts-types (n=4).

Paille : parties non récoltables (feuilles, tiges, paille, etc.).

MS : matière sèche

Une même lettre indique une absence de différence significative entre systèmes pour une année au seuil de 5% (p < 0,05) d'après le test de Tukey.

En général, les rendements en grains et en paille de riz ne diffèrent pas significativement entre les parcelles labourées et les parcelles SCVlab et SCVm, sauf pour la paille en 2005-2006 (plus de paille avec labour qu'avec SCVlab et SCVm). Mais en général les rendements en grains et paille de riz sont significativement plus élevés sur les parcelles labourées que sur les parcelles SCV sous couverture végétale vivante (SCVv), surtout en 2005-2006.

Les rendements en grains et paille de maïs ne diffèrent pas significativement entre traitements, sauf en 2007-2008, où les parcelles labourées avec résidus enfouis (LABenf) ont produit significativement plus de grains que celles en SCV sous couverture vivante (SCVv).

En général, les rendements en grains de haricot sont significativement plus élevés avec SCV qu'avec labour (sauf en 2008-2009 : pas de différence significative entre SCVlab et LABenf). L'effet des traitements sur le rendement en résidus de haricot est moins net : ce rendement tend à être plus élevé en labour qu'en SCV en 2006-2007, mais c'est l'inverse en 2008-2009.

L'analyse de moyennes en matières sèches sur quatre ans (rendement en grains et en paille) a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre le rendement sur les parcelles labourées ($2,21 \pm 1,94 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) et le semis direct ($2,17 \pm 2,01 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) (tableau 3).

Bref, dans l'ensemble, les différences de rendement entre labour et SCV sont donc peu significatives, surtout pour les grains, sauf (i) pour le haricot, plus productif avec SCV qu'avec labour, et (ii) pour le SCV avec couverture vivante (SCVv), moins productif que le labour surtout en début d'expérimentation.

Discussion

Ruissellement et pertes en terre

Les bilans des études antérieures sur l'érosion des Hautes-Terres malgaches montrent que les pertes en terres sur les sols cultivés sans dispositif antiérosif varient, à l'échelle de la parcelle, de 4 à 24 t/ha/an, avec une moyenne de 6,7 t/ha/an et une médiane de 4 t/ha/an (PCS, 1997 ; Ratsivalaka *et al.*, 2007 ; Remamy, 2005). Par rapport à ces valeurs publiées, les pertes en terre sous labour à Andranomanelatra, de l'ordre de 7,6 t/ha/an, avoisinent cette moyenne. Avec semis direct et couverture végétale, le ruissellement et les pertes en terre ont diminué d'une manière significative. Cette réduction a été observée dès la mise en place du dispositif en 2004.

Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer cette différence. En effet, sur les parcelles labourées, le sol fraîchement travaillé en octobre est exposé directement à l'agressivité des premières pluies érosives d'octobre, novembre et décembre, ce qui occasionne des pertes en terre et du ruissellement importants lorsque les plantes cultivées ne sont pas encore suffisamment développées pour intercepter les gouttes des pluies.

À l'opposé, sur les parcelles SCV (SCVlab, SCVm et SCVv) et la parcelle en jachère herbacée (JC), la couverture vivante ou morte intercepte les gouttes des pluies, dont une fraction infime atteint directement le sol. Cette couverture piège aussi les sédiments érodés qui pourraient être transportés par le ruissellement (Bochet *et al.*, 2000) et maintient le sol en place, grâce aux systèmes racinaires qui agissent comme un agent de liaison entre les agrégats du sol (Angers & Caron, 1998) et améliore ainsi sa structure (Abernethy & Rutherford, 2000 ; Six *et al.*, 2002). Plusieurs études ont également rapporté que le système SCV augmente la teneur en matière organique (MO) du sol. Cette augmentation de la teneur en MO sous système SCV atténue aussi les risques d'érosion : Ekweue (1993) et Le Bissonnais & Arrouays (1997) ont montré que l'érodibilité du sol est corrélée négativement avec sa teneur en MO.

Arrière effet du labour sur le comportement du sol

A l'issue de cette étude, il a été également montré que parmi les trois systèmes SCV étudiés (SCVlab, SCVm et SCVv) les pertes en terre sur les parcelles SCVlab sont significativement différentes des autres en 2005-2006. Rappelons que les parcelles SCVlab ont été labourées en 2004, ce qui explique les différences observées en 2005-2006. Pour les autres années, l'effet du labour n'est plus visible.

Mécanisme déterminant la réduction des pertes en terre sur les parcelles SCV à Andranomanelatra

L'expérimentation menée à Andranomanelatra a confirmé l'effet positif du système SCV sur la réduction du ruissellement et des pertes en terre. La relation entre l'intensité de la pluie et le ruissellement d'une part et l'intensité de la pluie et la turbidité d'autre part permet de mieux expliquer cette réduction (Figure 2).

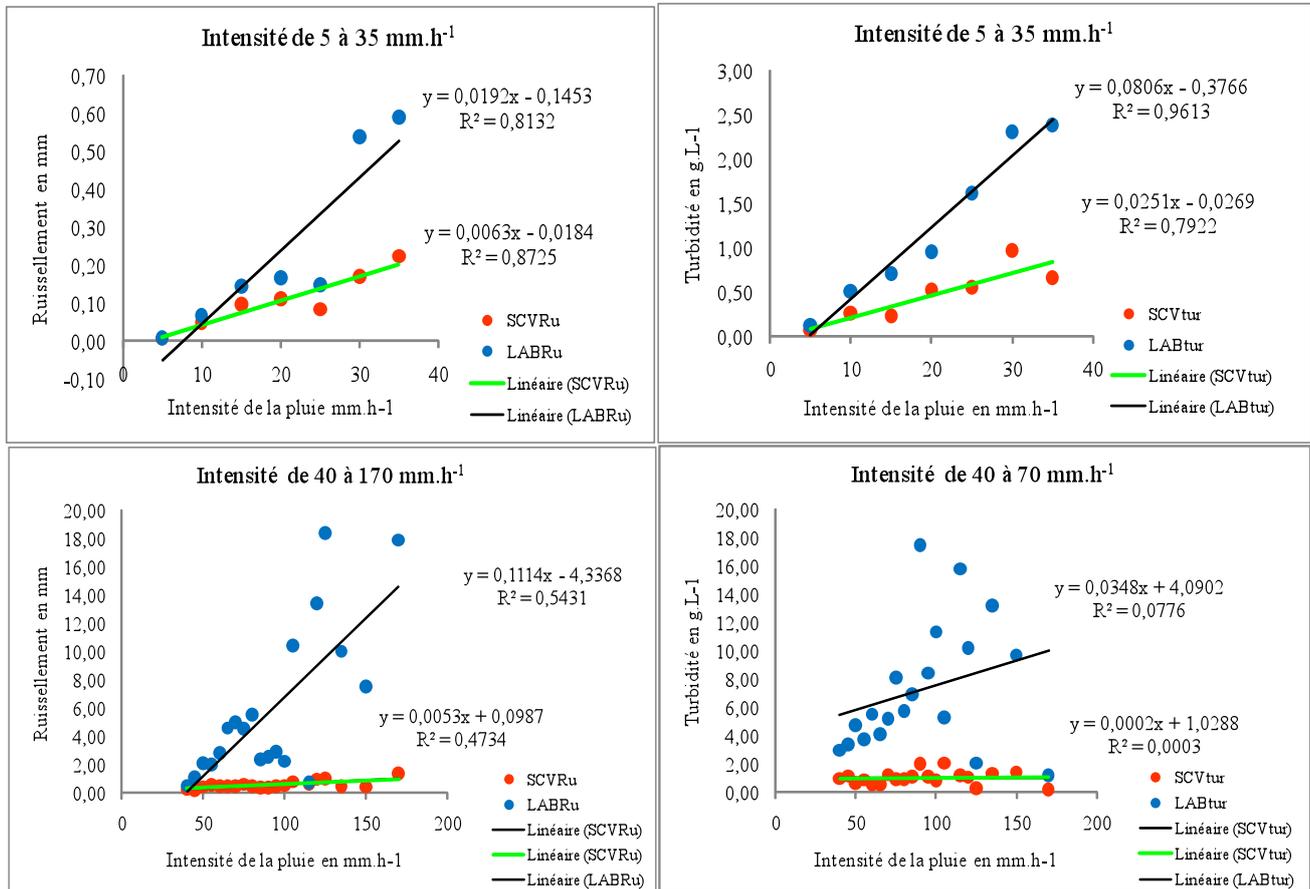


Figure 2. Relation entre intensité de la pluie et ruissellement (Colonne 1)-Relation entre intensité de la pluie et turbidité (Colonne 2)

L'étude de relation entre le ruissellement et l'intensité de la pluie, pour tous les épisodes pluvieux de quatre campagnes a montré qu'il existe une corrélation significative entre les deux variables. Ceci est valable pour les deux systèmes étudiés.

L'étude de relation entre l'intensité et la turbidité a montré que pour une intensité de 5 à 35 mm.h⁻¹, il existe une corrélation significative entre les deux variables. Mais, entre 40 et 170 mm.h⁻¹, les sols des parcelles labourées et les parcelles SCV se comportent différemment. Sur les parcelles labourées, la turbidité des eaux ruisselantes dépend toujours de l'intensité de la pluie. Sur les parcelles SCV, la turbidité tend toutefois à devenir constante.

Les résultats de nos expérimentations indiquent que la couverture sur les parcelles SCV contrôle plus la turbidité que le ruissellement, surtout sous très forte pluie (intensité supérieure à 40mm.h⁻¹). Le SCV est donc une pratique antiérosive qui protège le sol agricole contre les pluies abondantes et intenses, caractéristiques des pays tropicaux.

Rendement des cultures

Les analyses sur le rendement en grains du riz et du maïs ont montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les systèmes labourés (LABenf et LABexp) et les deux systèmes

SCVlab et SCVm. Mais il a été observé que le rendement sur les parcelles à couverture végétale vivante à base de *Brachiaria ruziziensis* (SCVv) est le plus faible. Ce résultat est en accord avec ceux rapportés par Naudin (2005), qui a observé que les rendements en maïs sont plus faibles en SCV avec *Brachiaria* qu'en labour conventionnel. Cette réduction du rendement sur les parcelles SCVv est expliquée en grande partie par la capacité de *Brachiaria ruziziensis* à se développer très rapidement et à utiliser les éléments nutritifs contenus dans le sol (Husson *et al.*, 2008). Cette situation crée un effet dépressif sur les autres plantes cultivées dès le début du cycle, et a un impact négatif sur le rendement ultérieur. Toutefois, lors de la dernière campagne (2008-2009), il y a une nette amélioration des rendements sur les parcelles SCVv, et les différences avec les rendements sur labour ne sont plus significatives. On peut supposer que l'enrichissement du sol en matière organique grâce à la couverture de *Brachiaria* permet finalement de compenser la compétition exercée par cette couverture vive sur les autres plantes cultivées.

Pour le haricot, les rendements en grains obtenus sur labour sont inférieurs à ceux obtenus sur SCV avec couverture morte (SCVlab et SCVm). Cette différence a été observée dès la mise en place du dispositif expérimental en 2004 (Remamy, 2005).

Conclusion

1. L'expérimentation menée à Andranomanelatra montre que le système de semis direct sous couverture végétale permanente est une pratique conservatrice pour les sols et les eaux. Elle réduit considérablement le ruissellement et les pertes en terre. L'effet de la couverture est plus efficace sous des pluies intenses. Selon l'indication du quatrième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC) en 2007, le réchauffement climatique provoquera probablement une augmentation de la fréquence des événements de forte précipitation sur la plupart des régions, avec un risque accru d'érosion des sols. Le système SCV est un moyen de lutte antiérosif adéquat pour faire face au problème climatique.
2. Après quatre années d'expérimentation, les différences de rendement en riz pluvial, maïs et haricot entre labour et semis direct sous couvert sont faibles.

Remerciements

Pour le soutien technique et financier de la présente étude, nous remercions vivement : l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement, le LRI (Laboratoire des Radio Isotopes), le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), l'URP-SCRiD (Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et de Riziculture Durable) à Andranomanelatra, le SCAC (Service de Coopération et d'Action Culturelle), l'AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) et l'IFS (International Foundation for Science).

Références bibliographiques

- Abernethy B & Rutherford I.D., 2000 - The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surface Processes Landforms*. 25: 921-937.
- AFD (Agence française de développement), 2006 - Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV). Paris, France.
- Angers D.A & Caron J., 1998 - Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry* 42: 55-72.
- Bochet E., Poesen J., Rubio J.L., 2000 - Mound development as an interaction of individual plants with soil, water erosion and sedimentation processes on slopes. *Earth Surface Processes Landforms*. 25: 847-867.

Ekweue E.I., Ohu J.O., Wakawa I.H., 1993 - Effect of incorporation two organic materials at varying levels on splash detachment of some soils from borno State, Nigeria. *Earth Surface Processus and Landforms* 18: 399-406.

GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat), 2007- Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. 103p.

Hudson N.W., 1993 - Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bulletin* 68: 139 p.

Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarivivo C., Rakotondramanana., Séguy L., 2008 - Fiches techniques plantes de couverture : Graminées pérennes : *Brachiaria spp.* 20 p. Document obtenu sur le site Cirad du réseau <http://agroecologie.cirad.fr>.

Husson O. & Rakotondramanana., 2006 - Voly rakotra, Mise au point, évaluation et diffusion des techniques agro-écologiques à Madagascar. Articles et posters présentés au Troisième Congrès Mondial d'Agriculture de Conservation, Nairobi, Kenya, Octobre 2005. Groupement Semis Direct de Madagascar (GSDM): 67 p.

Jiao Y., Whalen J.K., Hendershot W.H., 2006 - No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. *Geoderma* 92:111-123.

Le Bisonnais Y. & Arrouays D., 1997 - Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : application to humic loamy soil with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science* 48: 39-48.

Naudin K., Balarabe O., Aboubakary., 2005- Système de culture sous couverture végétale : Projet ESA Nord Cameroun, Résultats campagne 2004, I. Synthèse. 65 p.

PCS (Projet de conservation des sols), 1997 - Bilan et évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar : conservation des sols et érosion. Atlas de carte et de photographie mars 1997. Centre de documentation IRD Madagascar. 501 p.

Rabeharisoa Lilia., 2004 - Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes-Terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles- Université d'Antananarivo-Faculté des Sciences - Département de Biologie et Ecologie végétales: 196 p.

Ratsivalaka S., Andriamampianina, Andriamihamina, Randriamboavonjy, Mietton, Puech., 2007 - Restauration et gestion de la fertilité des sols du bassin versant de Maniandro sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar. Acte des JSIRAUF (Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'Agence Universitaire de la Francophonie), Hanoi, 6-9 novembre 2007. 7 p

Razafimbelo T., Albrecht A., Basile I., Borschneck D., Bourgeon G., Feller C., Ferrer H., Michellon R., Moussa N., Muller B., Oliver R., Razanamparany C., Seguy L., Swarc M., 2006 - Effet de différents systèmes de culture à couverture végétale sur le stockage du carbone dans un sol argileux des Hautes Terres de Madagascar. *Etude et Gestion des sols* 13: 113-127.

Remamy, R., 2005 - Quantification des ruissellements et d'érosion sur défriche des Hautes-Terres de Madagascar : labour et semis direct sur couverture végétale permanente. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques: Département Agriculture: 56 p.

Roose E., 1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO* 70: 420 p.

Séguy L., Bouzinac S., Trentin A., Côrtes N.A., 1996 - L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. *Agriculture et développement* 12 : 1-76.

Six J., Conant T., Paul A. et Paustian K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.

EFFECT OF IMPROVED FALLOW SYSTEMS ON SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND CROP YIELD IN THE RAIN FOREST OF SOUTHEASTERN NIGERIA

F.N. Ikpe and L.D. Gbaraneh

Department of Crop/Soil Science, Rivers State University of Science and Technology,
Port Harcourt, Nigeria.
Email : fnikpe@yahoo.com

Abstract

In most of sub-Saharan Africa, there has been shortening of fallow periods to less than 10 years by farmers. In southeastern Nigeria, fallow periods have been reduced to less than 5 years due to population pressure. Marginal lands are being brought under cultivation. Under these circumstances, there is need for soil and crop management options to improve productivity. The study site is in the humid forest zone with an average elevation of 10m a.s.l. and receives a mean annual rainfall of 2400 mm, usually in a monomodal distribution lasting from March to November. The soils are highly weathered and acidic with Ultisols of pH ranging from 3.5 to 6.0 and mineralogy dominated by low activity clays with low cation exchange capacity (CEC) and low base saturation. The soils have a low organic matter (0.5-3%) and consequently low nutrient reserve. Two experiments were conducted between 1996 and 2000 with improved fallow systems. Soil chemical properties under the improved fallow systems, were significantly improved within a short period of time while cassava and maize yields were greatly increased. Although the Tephrosia mulch showed a tendency of soil acidification in the present study, the lab lab fallow either with or without sheep grazing, led to increases in soil pH, organic carbon (OC), nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). The adoption of these fallow systems by farmers will depend on their profitability and sustainability in these fragile tropical ecosystems.

Key words: SE Nigeria, Fallow type, grazing, sheep dung, nutrient recycling, humid forest.

Résumé

Dans la majorité des zones subsahariennes d'Afrique, les paysans ont réduit la durée de la jachère à moins de dix années. Mais dans le SE du Nigeria, la pression démographique est telle que la jachère a été réduite à moins de 5 ans. Des terres marginales ont été mises en culture : d'où la nécessité de définir des techniques de production capables d'améliorer la productivité des sols. L'étude eut lieu dans une zone de forêts humides, à 10 m d'altitude et 2400 mm de pluie monomodale, entre mars et novembre. Les sols sont des ultisols très acides, profondément altérés, à argile kaolinitique à faible capacité d'échange de cations et faible saturation en bases. Ces sols sont pauvres en matières organiques (0,5 à 3% de MO) et ont par conséquent peu de réserve de nutriments. Deux essais ont été conduits de 1996 à 2000 comparant divers systèmes de jachères. Sous les jachères améliorées, les propriétés chimiques des sols ont été significativement améliorées en une courte période et les rendements en manioc et maïs largement augmentés. Bien que le paillage de Tephrosia a entraîné une tendance à l'acidification dans cet essais, la jachère à Lablab, avec ou sans pâturage par les moutons, a amené une augmentation du pH, du taux de MO, de l'azote, du P et K. L'adoption par les paysans de ces techniques va dépendre de la rentabilité et de la durabilité de ces techniques dans ces écosystèmes tropicaux très fragiles.

Mots-clés : SE Nigeria, forêt humide, type de jachère, parcours, recyclage des nutriments

Introduction

Soils of the humid tropics are highly weathered and acidic, with pH ranging from 3.5 to 6.0 and mineralogy dominated by low activity clays. The important characteristics of low activity clay soils are low cation exchange capacity (CEC), which is normally less than 8 cmol kg⁻¹ of soil, and low base saturation (Juo and Adams 1986). The soils have a low organic matter (0.5-3%) and consequently low nutrient reserve, and imbalanced nutrient elements composition and toxic levels of microelements. Therefore, loss of organic matter in these soils causes soil compaction, low water and nutrient retention, low infiltration rate and accelerated run-off and erosion, leading to loss of the natural resource base and decline in soil productivity (Hulugalle *et al.* 1998).

The dominant farming systems in the tropics for centuries have been based on bush or forest fallow. The potentials, problems and the structural framework for this land use system have been extensively discussed by Nye and Greenland (1960), Allan (1965) and Nair (1986). Over the years attempts have been made to use annual and perennial herbaceous legumes to enhance green manure input and thus recycle nutrients (Webster and Wilson 1980).

This has led to the modification of fallow systems in quality and duration to suit farmers' needs in the management of soil fertility. Consequently, the annual legumes are only suitable for use in relay fallowing (Ikpe *et al.* 2003) lasting for about six months. Jaiyebo and Moore (1964) reported that trees and shrubs, such as *Tephrosia candida* (Proxb.) D.C., which have deep roots, are more efficient agents of nutrient recycling and thus are more suitable for fallow periods of between 1 and 5 years and longer.

During the fallow period, plant nutrients are taken up by fallow vegetation, either trees or shrubs, from various soil depths. These nutrients are later released during litter and biomass decomposition for the improvement of soil organic matter and sustainable yields of food crops. This study thus evaluates the potentials of an indigenous, leguminous, perennial, fast growing tree, *Tephrosia candida*, and lablab (*Lablab purpureus*) an annual herbaceous legume for nutrient recycling in fallow systems of southeastern Nigeria.

Materials and Methods

The experiments were conducted on-farm and on-station on an acid Ultisol at Kpite, 50 km from Port Harcourt (4°45' N, 7°18'E) and at Onne (4° 51' N, 7° 03' E), respectively in southeastern Nigeria. Kpite and Onne are in the high rainfall, humid forest of the Niger Delta region in southeastern Nigeria. The mean annual rainfall at the experimental site is 2400 mm in monomodal distribution, lasting from March to November. Temperatures are moderate. Relative humidity in the areas remains high throughout the year, with mean values September ranging from 78% in February to 88% in July and September. Monthly mean temperatures of the coolest (July and August) and hottest months (February to April) are 25 and 27 °C, respectively.

Field trial

Experiment I

The experimental design was a split plot fitted into a randomized complete block. The main treatment was fallow age (1 vs. 2 yr) and sub-treatment was fallow species (*Tephrosia candida* vs. natural bush regrowth). The treatments were replicated four times. At the peak of the rainy season *T. candida* seeds estimated to give 10,000 plants per hectare were broadcast uniformly on the plots. These plots were kept free from weed. At the end of the first year, plots designated for 1 yr fallow were cleared as *T. candida* shoots were cut back at the soil surface. Wood, leaves and twigs were chopped and distributed evenly on the plot to serve as mulch. The same procedure was applied to plots designated for 2 yr fallow. Cassava was planted at 1 x 1 m (10,000 ha⁻¹), and maize intercropped at 1 x 1 m as well (10,000 hills ha⁻¹ and 20,000 plants ha⁻¹). On each row, there was one cassava plant every meter, with one hill of maize plants at mid distance. Plots were had weeded three times per year. Maize was harvested at 90 days (maturity) while cassava was allowed to grow for one year. The cassava (*Manihot esculenta* Crantz) variety used was var. TMS 9193, while maize (*Zea mays* L.) was var. TZPB-SPW. One cassava cutting of about 25 cm was plated per hill, while two maize plants were left per hill.

Soil sampling and analytical methods

At the onset of the trial, prior to sowing seeds of *T. candida* and after 1 yr of cropping in the main plots (1 yr and 2 yr of fallowing) soil samples were taken. An auger was used at 0-5, 5-15 and 15-30 cm depths. The soil samples were air-dried in the laboratory and ground to pass a 2 mm sieve prior to chemical analysis. Soil pH was determined on a 1:1 soil: H₂O solution with a glass electrode pH meter according to the procedure of Tel and Rao (1982). Organic carbon was determined using a modification of the method of Walkley and Black (1934). Total nitrogen was determined using a Technicon autoanalyzer (Technicon AAll) after digesting the sample with a mixture of concentrated orthophosphoric and sulphuric acid in a Tecator Digester. Available phosphorus in soil was determined by the Bray-1 method (Bray and Kurtz 1945) using the Technico autoanalyzer. Exchangeable cations were extracted with 1 N NH₄AC + 0.01M EDTA at 20:50 fresh soil: extractant ratio. The extracts were determined with an Atomic Absorption spectrophotometer (AAS), while the concentrations of potassium and sodium were measured with a flame photometer. The effective cation exchange capacity (ECEC) was calculated by sum of exchangeable cations and exchangeable acidity, expressed in cmol kg⁻¹ soil.

Analytical methods for plant nutrients

Dry matter of weed, litter and *T.candida* biomass were ground to pass a 1 mm sieve. These ground plant materials were digested with a mixture of concentrated sulphuric acid and hydrogen peroxide in presence of one Kjeldahl catalyst tablet in a Tecator Digester for the determination of total nitrogen (Tel and Rao 1982). Total carbon content was determined using the procedure of Amato (1983).

Extracts for the determination of phosphorus, calcium, magnesium and potassium in plant materials were obtained after digesting samples using the procedure described in the IITA laboratory manual (1979).

Experiment II

The experimental design was a split plot with three replications. Fallow systems and grazing methods were the main and sub treatments, respectively. The main treatments

were improved (with lablab) and unimproved (natural) fallows and measured 30 x 15m each. The sub treatments consisted of grazing with sheep, and no grazing with the plots measuring 24 x 15m and 6 x 15m, respectively.

After land preparation, both main plots were annually cropped with maize (var. (TZ DMR SR-W) to a population of 40,000 plants/ha in April, with a spacing of 1 x 0.25m and seedlings thinned to one plant per stand 2 weeks after planting. However, the improved plots were relay cropped with lablab (*Lablab purpureus*), 4 weeks after maize planting at a population of 1333 (Gbaraneh, 1997). The unimproved plots were not relay cropped with lablab. Rather weeds took over the plots after maize harvest to form a dense bush cover until the commencement of grazing, three months later. At maize harvest a 2m x 2m quadrat taken at random in four different locations within a paddock (sub plot) was used for maize yield measurement. Maize cobs within the quadrats were harvested, shelled and grain yield estimate at 13% moisture content. Other parameters collected were maize stover and weed DM yields. At the onset of the dry season, in December of each year, 3 West African dwarf (animal) sheep of average age and weight of 8 months and 12 kg, respectively, were introduced to the grazing plots. They were allowed to graze *in situ* for as long as biomass supply lasted (from early December to late January). Harness and bags were fitted to the animals one day per week for estimation of daily faecal output. Animal weight change was monitored weekly throughout the grazing period. Mineral salt block and water were provided *ad-lib*. Others parameters were forage available at grazing, forage disappearance (intake) at the end of grazing, dung production and soil nutrients status.

Statistical analysis

Differences in the yields of cassava and maize, weed incidence, nutrient uptake and soil chemical properties due to fallow age and type of fallows were estimated and tested by analysis of variance (ANOVA) using the procedure GLM of SAS (SAS Institute 1998). LSD at $p < 0.05$ was used for mean comparisons.

Results and Discussion

Experiment I

Biomass yields of *Tephrosia candida*

After 2 yr of fallow under *Tephrosia candida*, litter was 150% higher than under natural regrowth for the same period. After 1 yr of fallow under *T. candida*, litter was 33% higher than under natural regrowth for the same period. Total biomass (wood and leaves) cut-back after 2 yr of fallow under *T. candida* was double that harvested after 2 yr of fallow under natural regrowth for the same period. Total biomass from *T. candida* fallowed for 1 yr was 30% higher than that harvested from natural regrowth of 1 yr (Table 1).

Table 1: The effect of fallow age and fallow type on biomass yield (t ha⁻¹) in a humid tropical environment, Kpite, southeastern Nigeria

Fallow	Wood	Leaves	Total biomass (leaves + Wood)	Litter
1 Year Natural	1.7	5.2	6.9	3.8
1 Year <i>T. candida</i>	3.5	6.5	10.0	5.7
2 Years natural	3.4	6.8	10.2	10.1
2 Year <i>T. candida</i>	8.5	13.0	21.5	25.0
LSD (0.05)	3.26	4.34	6.50	4.83

Nutrient uptake

Greatest uptake of N, P, Mg, and K in litter was recorded in plots fallowed with *T. candida* for 2 yr (Table 2). These were followed by nutrient yield in litter of plots fallowed naturally for 2 yr, then those fallowed *T. candida* for 1 yr, and finally those fallowed naturally for 1 yr. Highest uptake of calcium was found in litter gathered from plots fallowed naturally for 1 yr, followed by that in litter of 2 yr fallow with *T. candida*, then in litter of 2 yr national fallow and lastly, in litter of 1 yr fallow with *T. candida*.

Nutrient uptake in leaves from fallow plots differed considerably from those in litter. Of all the nutrients, N uptake was the highest and this was consistent across fallow age and type (Table 2). The uptake of N, P, Ca, Mg and K was highest in leaves of *T. candida* fallowed for 2 yr. Nutrient uptake in leaves from other fallow plots did not differ significantly between each other. A similar scenario is observed for nutrient uptake in the woody part of this fallow species under study.

Table 2: Effect of fallowing on nutrient uptake in a humid environment, Kpite, southeastern Nigeria

Fallow	Nitrogen	Phosphorus	Calcium	Magnesium	Potassium
kg ha ⁻¹					
Litter					
1 Year Natural	64.8	33.3	99.8	10.4	3.5
1 Year <i>T. candida</i>	140.5	72.0	21.2	22.6	7.5
2 Years natural	204.2	104.6	30.9	32.9	11.0
2 Years <i>T. candida</i>	516.7	264.3	78.0	83.1	27.7
LSD (0.05)	101.7	52.1	15.4	16.4	5.5
Leaves					
1 Year Natural	238.0	12.0	46.3	10.4	30.7
1 Year <i>T. candida</i>	191.4	14.9	57.6	12.9	38.2
2 Years natural	248.3	15.5	60.1	13.5	39.8
2 Years <i>T. candida</i>	479.0	29.9	115.8	26.0	76.8
LSD (0.05)	159.9	10.0	38.7	8.7	25.6
Wood					
1 Year Natural	12.70	1.40	2.70	0.70	1.40
1 Year <i>T. candida</i>	26.20	2.80	5.70	1.40	2.80
2 Years natural	25.30	2.70	5.50	1.40	2.70
2 Years <i>T. candida</i>	62.80	6.80	13.60	3.40	6.80
LSD (0.05)	24.10	2.60	5.20	1.30	2.60

Crop yields

Cassava tuber yield ranged between 6.8 and 18.3 t ha⁻¹. The highest yield was recorded in plots fallowed with *T. candida* for 2 yr, and the lowest in *T. candida* plots fallowed for 1 yr. Maize grain yield showed a similar trend with that of cassava.

Results obtained in both experiments indicate that improved fallow systems gave higher biomass dry matter for mulching and suppressing weeds. However, there were no significant differences in soil chemical properties among treatments for all parameters measured. Larger biomass and crop yields were obtained while more nutrients were recycled after two years of fallowing compared with natural fallow.

In a companion study using litterbags to determine the decay rate of *T. candida* biomass, consisting of wood, twigs and leaves, and the release of nutrients, it was found that *T. candida* biomass has a slow decay rate of 0.13 wk and a half-life of 6 wk (F.N. Ikpe), unpublished data). This makes the pruning of *T. candida* most suitable for mulching under a humid tropical environment such as the Kpite site.

Consequently, the release of nutrients was also slow. After 98 days of decay, only 40% of the initial nitrogen was released, followed by calcium 50%, phosphorus 70%,

magnesium 88% and potassium 90% (F.N. Ikpe, unpublished data). The comparatively yields of cassava tuber and maize grain after fallowing for 2 yr with *T. candida* biomass on soil physical properties (Gichuru 1991), (ii) soil faunal activities which improve the chemical and physical properties of the soil (Tian 1992), and (iii) the recycling of nutrients.

Changes in soil chemical properties

After two years of fallowing and cropping, total nitrogen increased significantly over the initial *T. candida* fallow. Total nitrogen was higher in plots under *T. candida* than the values one year after natural and plated fallow and with two years of natural in surface soil (Table 3).

The soil pH decreased significantly after two years of fallow when compared with that measured in plots one year after fallowing, fallow type notwithstanding. Organic carbon was significantly higher in *T. candida* plots than in those with natural fallow. The dynamics of available phosphorus followed the same trend as pH, decreasing significantly when compared with initial and one year of fallowing (Table 3).

Table 3: Effect of fallowing with natural regrowth *Tephrosia candida* soil chemical properties after two years of fallowing and cropping.

Fallow	pH (1:1 (H ₂ O))	Total N (%)	OC	Bray - 1 P (ppm)	Ca	Mg	K	Na	Al ³⁺ H ⁺ (c mol kg ⁻¹)	ECEC	BS (%)
0-5 cm											
Initial	4.5	0.100	1.13	46.13	1.10	0.36	0.19	0.16	0.92	2.73	66.2
2 Years Natural	4.9	0.100	1.28	31.50	1.03	0.30	0.10	0.20	0.98	2.60	59.15
2 Years <i>T. candida</i>	4.7	0.103	1.36	31.40	0.85	0.20	0.10	0.20	1.45	2.50	59.10
LSD (0.05)	0.14	0.006	0.08	12.99	0.13	0.04	0.00	0.00	0.36	0.24	11.69
5-15 cm											
Initial	4.5	0.090	1.43	37.27	0.81	0.25	0.08	0.44	1.30	2.54	48.4
2 Years Natural	4.4	0.084	0.93	38.43	0.43	0.43	0.05	0.45	1.83	2.58	29.31
2 Years <i>T. candida</i>	4.0	0.087	0.97	26.88	0.50	0.40	0.04	0.48	1.93	2.76	30.58
LSD (0.05)	0.10	0.004	0.08	7.05	0.60	0.02	0.01	0.03	0.23	0.19	4.52
15 - 30 cm											
Initial	4.5	0.150	1.04	23.85	0.59	0.17	0.11	0.08	1.53	2.43	30.7
2 Years Natural	4.6	0.066	0.75	20.40	0.53	0.10	0.05	0.20	1.95	2.82	31.19
2 Years <i>T. candida</i>	4.1	0.064	0.73	15.65	0.43	0.10	0.03	0.20	1.88	2.63	29.60
LSD (0.05)	0.25	0.004	0.07	5.52	0.07	0.00	0.01	0.00	0.27	0.29	3.32

All the exchangeable cations increased in concentration over the values observed one

year after fallowing. The concentrations of calcium and magnesium were, however, considerably higher in the plots under natural fallow than in those fallowed under *T. candida* plots than in the natural fallow plot. Values for ECEC and base saturation were higher in plots fallowed for one year and also in *T. candida* plots than in natural fallow plots. Soil chemical properties decreased with soil depth.

Experiment II

Maize Grain Yield

Maize grain yield was significantly influenced by fallow and grazing management systems. In 1996, the first year of the experiment, yield did not differ significantly ($p > 0.05$) between the natural and improved fallow systems, although the improved fallow slightly increased yield by 5% over the natural fallow system. Grain yield significantly ($p < 0.001$) increased in the improved fallow treatment by 18% over the natural fallow system in the second year (1997) attributed to improved soil nutrients status by the previous lablab crop (Mohammed-Saleem and Otsyina, 1986). Grazing by sheep also showed no significant effect in the first year of the experiment since grazing was done after the maize harvest. There was a significant grain yield increase of 9% by the grazed treatment over the no-grazing in the second year of the experiment. This yield enhancement in the grazed plots could possibly be attributed to improved soil fertility by the dung and urine (faecal output) deposited by sheep while grazing *ad lib* in the plots (Powell and Ikpe, 1992; Ikpe *et al.*, 1999).

Grazing effect became prominent in the second year of the experiment (Table 4), as the grazed plots significantly increased total forage-on-offer by 1.20 t ha^{-1} , representing 50%, over the yield in the un-grazed plots. Crude protein content of forage-on-offer also increased by 1.42 g kg^{-1} , representing 32% in the grazed plots as against the un-grazed plots.

Table 4: Influence of grazing methods on yield of fodder-on-offer (t ha⁻¹) and crude protein content of forage (g.kg⁻¹) at Onne, southeastern Nigeria.

Year	Fallow methods	Forage-on-offer (t ha ⁻¹)	Crude protein (CP) g kg ⁻¹
1996	Ungrazed	2.59	3.65
	Grazing by sheep	2.57	3.80
	LSD (p <0.05)	ns	ns
1997	Ungrazed	2.06	4.46
	Grazing by sheep	3.26	5.88
	LSD (p <0.05)	0.175	0.374

ns = not significant at 5% level of significance.

Dung Production

The dung production (faecal output) of sheep in the grazed plots is shown in Table 5. Dung production was highest in the improved fallow-grazed plots than the natural fallow - grazed plots across the years. Average daily faecal output sheep⁻¹ day⁻¹ was 67 and 81% higher in the improved fallow plots than the natural system in 1996 and 1997, respectively. The high output in the lablab-improved fallow plots may be attributed to the highly nutritious biomass and intake recorded as against the natural fallow plots. Faecal output also showed a direct and positive relationship with total forage on offer and intake.

Table 5: Forage intake (t/ha) and faecal output (g/sheep/day) by West African Dwarf sheep in natural and improved fallow systems at Onne, southeastern Nigeria.

Year	Fallow system	Forage-on-intake	Average daily faecal output
1996	Natural fallow	4.19	138
	Improved fallow	8.76	231
	LSD (p <0.05)	2.235	11.92
1997	Natural fallow	2.27	120
	Improved fallow	6.82	217
	LSD (p <0.05)	1.565	21.7

Conclusion

The results of this study show that *T. candida* and *L. purpureus* can play a major role in nutrient recycling in the cropping systems of southeastern Nigeria. However, strategies to mitigate the soil acidifying tendency of *T. candida* need to be pursued. Furthermore,

the integration of crops and livestock based on sown forage legume in the intercropping system can reverse the persistent decline in soil fertility under continuous cropping in these diminishing fallow systems as well as providing high quality fodder. There is need however, to adopt technologies that will recycle nutrients more efficiently for higher crop yields.

References

- Allan W. ,1965. *The African Husbandman*. Oliver and Boyd, Edinburgh, UK, pp.41-67.
- Amato M., 1983. Determination of ^{12}C and ^{14}C in plant and soil. *Soil Biol. Biochem.* 15: 611-61.
- Bray R.H. and Kutz L.T., 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59 : 39-45.
- Buxton, D. R., 1996. Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. *Animal Feed Science Technology*, 59: 37-49.
- Gbaraneh L.D., 1997. Effect of time of lablab undersowing in maize for maximum grain yield and fodder quality. *MSc. Thesis*. Rivers State University of Science and Technology, Port Harcourt, Nigeria.
- Gichuru M.P., 1991. Residual effect to natural bush, *cajanus cajan* and *Tephrosia candida* on the productivity of an acid soil in Southeastern Nigeria. *Plant-Soil Interactions at low pH* : 417- 422.
- Hulugalle N.R., Lal R. and Gichuru M.P., 1998. Effect of five years of no-tillage and mulch on soil properties, tuber yield of cassava on an acid Ultisol in southeastern Nigeria. *Expl. Agric.* 26 : 235-240.
- Ikpe F.N., Hamadina M.K. and Isirimah N.O, 2003. Relay legume following and the sustainability of soil fertility in the humid lowlands of Southeastern Nigeria. *Nig. J. Res. Prod.* 3: 47-68.
- Ikpe, F.N. Powell, J.M. Isirimah, N.O., Wahua, T.A.T. and Ngodigha, E.M., 1999. Effect of Primary tillage and soil amendment practices on pearl millet yield and nutrient uptake in the Sahel of West Africa. *Expl. Agric.* (UK). 35, 4 : 437- 448.
- International Institute of Tropical Agriculture (IITA), 1979. *Soil and Plant Analysis Manual Series (I)*. IITA, Ibadan, Nigeria, 70 pp.
- Jaiyebo E.O. and Moore A.W., 1964. Soil fertility and nutrient storage in different soil vegetation systems in tropical rainforest environment. *Trop. Agric.* 41: 129-136.

- Juo A.S.R. and Adams F., 1986. *Chemistry of LAC Soils*. In: Soil Conservation Service. Proceedings Symposium on low activity clays (LAC) soils. Technical Monograph, Washington, DC,: 37-62.
- Mohammed-Saleem, M. A. and Otsyina, R. M., 1986. Grain yields of maize and the nitrogen contribution following stylosanthes pasture in the Nigerian subhumid zone. *Expl. Agric.* 22: 207-214.
- Nair N.F., 1986. *Agroforestry as an alternative to shifting cultivation*. In: Improved Production Systems as an Alternative to Shifting Cultivation. FAO, Rome, Italy, pp. 162.
- Nye P.H. and Greenland D.J., 1960. *The soil under shifting cultivation*. Technical Communication 51. Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, UK.
- Powell, J. M. and Ikpe, F.N., 1992. Nutrient Cycling through livestock " fertilizer factory". *ILEIA Newsletter (Netherlands)*. 8, 3 : 13-14.
- SAS (Statistical Analysis System), 1998. *Procedure guides Release 6.03 Edition*, SAS Institute Inc., Garry, North Carolina, USA.
- Tian G., 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions on plant and soil under humid tropical conditions, *Ph.D. Thesis*, University of Wageningen, Wageningen, The Netherlands 114 pp.
- Webster C.C. and Wilson P.N., 1998. *Agriculture in the Tropics*. Longmans. London, pp. 272-491.

Apports organiques et pratiques de conservation de l'eau comme clés de la restauration de la productivité des sols dégradés dans la zone semi aride du Burkina Faso

E. HIEN^a, W.T. KABORE^{a,b}, D. MASSE^b, P. DUGUE^c

^a Université de Ouagadougou, UFR/SVT, 03 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso
Tél: + (226) 70 26 36 36; Fax : + (226) 50 31 03 85; E-mail: hien@ird.bf

^b IRD, UMR Eco&Sols INRA-IRD-SupAgro, Place Viala (Bt. 12), F-34060 Montpellier cedex 1, France

^c CIRAD TERA, BP 34398, Montpellier cedex 01, France

Résumé

La pression démographique et les changements globaux menacent la durabilité des ressources naturelles dans la région sub-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. Les dégradations et changements environnementaux peuvent être atténués par l'adoption de pratiques agricoles adaptées qui permettent de restaurer durablement la productivité des sols dégradés et d'assurer la sécurité alimentaire des populations rurales.

A Ziga, village situé dans la région du Yatenga, un programme de recherche a été conduit entre 1980 et 1987. Le but de cette recherche était de décrire et d'analyser les pratiques de gestion de la matière organique et de l'eau, d'appréhender leurs déterminants, pour déduire leurs effets sur la durabilité des systèmes agricoles. En 2005, des enquêtes ont été menées dans ce même village, pour évaluer l'évolution des pratiques agricoles. Selon les résultats de ces enquêtes, deux pratiques, appelées «zaï» et «djengo», sont largement utilisées dans la production de céréales. Les caractéristiques du «zaï» et du «djengo» ont été évaluées et leurs effets sur les rendements des cultures de céréales mesurés.

Ces pratiques sont des systèmes de culture caractérisés par une concentration au niveau du système sol-plante de l'eau et des apports fertilisants sous forme organique ou minérale. La capture des eaux de ruissellement se fait au niveau de micro bassins creusés à la surface du sol dans lesquels sont apportés des matières organiques et où sont semées les graines de céréales. Elles sont associées à un contrôle des eaux de ruissellement et de l'érosion à l'échelle de la parcelle mais également à celle du petit bassin versant par l'intermédiaire des cordons pierreux disposés le long des courbes de niveau.

Alors que le zaï se pratique sur des sols encroûtés considérés comme dégradés, le «djengo» basé sur les mêmes principes est appliqué sur des sols à texture sableuse. Cette dernière pratique, qui porte le nom de l'outil utilisé pour sa mise en œuvre, une houe à long manche, n'avait pas été décrite au cours des travaux antérieurs menés à Ziga.

Les observations réalisées ont révélé une régénération de la diversité de la strate arborée associée aux cultures. Les principales contraintes de ces pratiques sont la quantité de travail nécessaire, la disponibilité du fumier. Cette étude a par ailleurs démontré la mise en œuvre d'une véritable stratégie d'intensification des systèmes de production agricole dans cette région sahéenne.

L'ensemble de ces pratiques associant des mesures de conservation des eaux et des sols du bassin versant au système sol-plante en passant par la parcelle cultivée permet aux agrosystèmes d'entrer dans un cercle vertueux d'augmentation de la production agricole tout en préservant les propriétés environnementales du milieu.

Mots clés : Afrique de l'Ouest, Sahel, Djengo, zaï, sols dégradés, productivité, restauration, intensification agricole, sécurité alimentaire.

1. Introduction

Le maintien de la fertilité des sols est essentiel pour une productivité durable, en particulier dans les pays pauvres en ressources naturelles (Hien, 2006 ; Yang, 2006). Les pays africains au sud du Sahara connaissent une augmentation démographique continue ces dernières décennies de l'ordre de 3% par an, ce qui se traduit par un doublement de la population tous les 25 ans (Jouve, 2005). Dans ces conditions, quelle est la capacité des ressources naturelles comme le sol à supporter cette croissance de la population et comment l'agriculture peut contribuer à la sécurité alimentaire? Les observations depuis une trentaine d'années ont montré une augmentation des zones exploitées pour l'agriculture et l'élevage. Cet accroissement s'est fait au détriment des formations végétales naturelles et des jachères de longue durée, pivots de la gestion de la fertilité des sols dans les agricultures de savanes en Afrique de l'Ouest.

Les seules zones non cultivées se retrouvent sur les terres marginales aux sols intrinsèquement peu favorables à la mise en culture. De plus, la pression de pâturage et de prélèvement de bois a accentué la diminution du couvert végétal laissant le sol face à l'agressivité des pluies intenses tropicales. Des processus de dégradation et de pertes de fertilité des sols se sont alors déclenchés entraînant une vulnérabilité accrue des systèmes de production.

Au Burkina Faso, dans les régions du Nord et du Yatenga en particulier, cette dégradation des terres a été mentionnée par Marchal (1983) avec l'apparition des « zipellés ». Du fait des phénomènes naturels (climat) et anthropiques, la dégradation accentuée du sol dans le Yatenga a entraîné la formation de glacis dénudés dont l'importance devient inquiétante devant la forte pression foncière (Dugué, 1986 ; Kambou et Zougmore, 1985).

Au cours des années de sécheresse de nombreuses familles de paysans sont contraints de quitter leurs villages pour s'installer dans les régions de forte pluviosité ailleurs au Burkina Faso (McMillan et al., 1990) ou dans les pays côtiers, en particulier en Côte d'Ivoire, tandis que d'autres sont attirés vers les centres urbains (Reij et al., 2005).

Ces dynamiques illustrent les relations entre population et environnement telles qu'elles sont conceptualisées par les thèses néo-malthusiennes en opposition aux thèses développées par Boserup. Les premières indiquent que l'augmentation de la pression de la population sur le milieu entraîne des phénomènes de dégradation de la productivité qui se résout par une migration ou exode rural. Ces mouvements de population ont effectivement eu lieu à un certain moment entraînant le développement des centres urbains et le peuplement de nouvelles zones agricoles vierges généralement dans des régions plus au sud, malheureusement sujettes à l'onchocercose. Cependant, une autre option face à la dégradation de la productivité du milieu est d'adapter les pratiques d'exploitation des ressources naturelles (sols, végétation) aux nouvelles conditions pédoclimatiques et socio-économiques (Boserup, 1970). Ces changements de pratiques qui peuvent concerner la lutte contre l'érosion et la conservation des eaux, l'intensification des systèmes de culture, permettent de maintenir voire de restaurer la production agricole pour soutenir la population rurale (Roose, 1994).

Au Yatenga, depuis une vingtaine d'années se sont développées des pratiques de restauration des sols dégradés, dont le « zaï » et le « djengo », qui allient la conservation de l'eau et une fertilisation organo-minérale localisées. Ces

pratiques ont modifié la productivité des terres dégradées, et conduisent nécessairement à une réorganisation du parcellaire, de la gestion de la main d'œuvre, des flux de matières organiques à l'échelle des systèmes de culture et des systèmes de production.

Le village de Ziga dans le Yatenga a été l'objet d'étude de recherche développement dans les années 1980-1985 (Dugué, 1989). Il semblait intéressant de revenir quelques années après pour évaluer l'importance des changements des pratiques agricoles rencontrées. Ces résultats permettront de contribuer au débat sur les relations entre population et environnement. Les objectifs de cette étude sont : (1) décrire et faire une analyse comparative de deux pratiques innovantes d'utilisation de fumure organique (FO) ; (2) apprécier l'effet de ces pratiques sur les systèmes de culture et les agro-écosystèmes.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Site d'étude

L'étude a été menée en 2005 dans le village de Ziga (13°25'N, 2°19'W), situé dans le Yatenga au Nord Ouest du Burkina Faso (figure 1). Ce village, peuplé de Peuls, de Dogons et surtout de Mossis, fait partie d'une zone historique de fortes densités de populations atteignant 70-100 habitants/km².

Ziga, à l'image de l'ensemble du Yatenga est soumis aux aléas pluviométriques. Il reçoit en moyenne annuellement entre 400 mm et 800 mm de pluies. Depuis 1921, les moyennes pluviométriques annuelles n'ont cessé de baisser jusque dans les années 90 et connaissent une légère amélioration cette dernière décennie. Les sols sont en grande partie des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés plus ou moins profonds (CPCS, 1967) ou leptosols ferriques ou pétroplinthiques (FAO, 1998) issus d'un substratum géologique essentiellement formé de granites acides. Ce sont des sols généralement peu profonds, pauvres en matière organique et à texture déséquilibrée (riches en sables et limons grossiers) qui prennent facilement en masse.

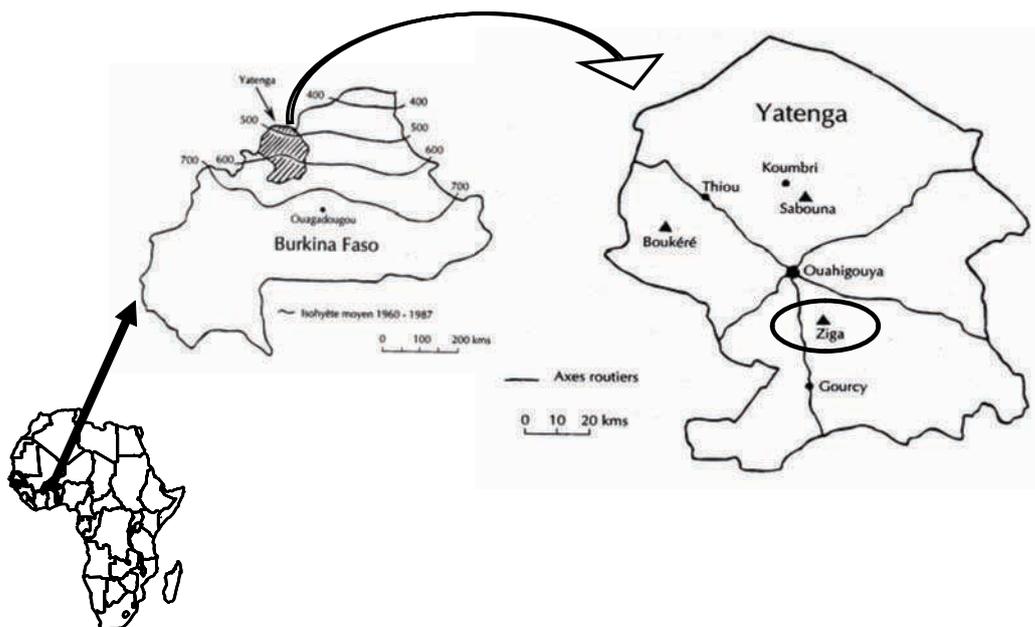


Figure 1 : Localisation du site d'étude

2.2. Dispositif d'enquête

2.2.1. Choix des exploitations et collecte de données

L'étude a porté sur 18 exploitations choisies de façon raisonnée dans ce village après une phase de pré-enquête auprès de 44 chefs d'exploitation pris au hasard et qui a permis de faire une distinction des exploitations agricoles (EA) selon leurs capacités d'intervention. Les critères de choix des 18 EA étaient essentiellement : (1) l'importance du parcellaire et la main d'œuvre ; (2) la taille du troupeau et la disponibilité de la fumure organique ; (3) la disponibilité du matériel agricole. Dans cet échantillon, on distingue 9 exploitations bien pourvues en facteurs de production, et 9 autres beaucoup moins pourvues. Les EA intermédiaires ont été exclues.

2.2.2. Dispositif d'enquête exploitation

Il a consisté en l'administration d'un questionnaire d'enquête « exploitation » et du suivi de ces exploitations dont les parcelles sont réparties sur les trois quartiers de culture du village : Bossomboré-Yakin, Biingwéogo et Légoum. Les principaux thèmes abordés sont les suivants : 1. Capital de l'exploitation : terres, matériels agricoles et animaux de trait ; 2. Pratiques de fumure et restauration de la fertilité des terres ; 3. Evaluation de la production de l'exploitation en 2005.

2.3. Description des pratiques à la parcelle

Pour la description des pratiques, nous avons procédé à la mise en place de carrés de rendements de 3m x 3m, soit 9m². Et sur chaque parcelle, trois carrés (répétitions) sont placés pour prendre en compte la l'hétérogénéité intra parcellaire. Ces carrés ont été placés sur diverses parcelles, de sorte à comparer ces différents systèmes de culture avec diverses utilisations de la FO (différents zaï et djengo), ainsi qu'une comparaison entre zaï et semis direct ou semis après labour, et ce, pour en évaluer les performances en terme de rendements. Les paramètres agronomiques mesurés sont : i) La taille de la cuvette (largeur, profondeur, diamètres) : dans chaque parcelle, trois carrés de 9mx9m sont placés au hasard. Sur chaque carré, les tailles de tous les trous sont mesurées. Les trous étant ovales, le plus grand diamètre (diamètre 1) est distingué du petit diamètre (diamètre 2) ; ii) Quantité de fumure organique en matière sèche /ha : nous suivons le paysan pendant l'apport de fumier dans les poquets, puis il est stoppé à un moment donné et la quantité de fumier dans sa main est récupérée dans un sachet, séchée puis pesée. Dans chaque carré, cette opération est renouvelée trois fois ; iii) Densité des cuvettes /ha, temps mis dans l'aménagement, composantes du rendement.

3. RESULTATS

3.1. Caractéristiques des exploitations

Les grandes exploitations ont en moyenne 6,3 ha cultivés contre 3,7 ha pour les petites exploitations. Mais il est à noter que les exploitations du quartier Légoum sont plus étendues. Tout se passe comme si la superficie exploitée varie en fonction des quartiers : elle baisse quand on passe de Légoum à Bingwéogo et enfin à Bossomboré Yakin où les surfaces sont les plus faibles. Cela traduit sans doute une plus forte pression foncière du côté de Bossomboré-Yakin, liée à la plus grande accessibilité de cette zone. Le nombre d'actifs varie de 9 à 14 pour les grandes exploitations contre 3 à 6 pour les petites exploitations. En moyenne, les grandes

exploitations disposent de 2 à 3 fois plus de main d'œuvre que les petites exploitations.

La productivité du travail exprimée en surface cultivée par actif est plus élevée dans une petite exploitation que dans une grande exploitation et ce, quelque soit le quartier de culture. En effet, ces valeurs sont respectivement pour les grandes et les petites exploitations de 0,5 ha et 0,93 ha (Bossomboré-Yakin), de 0,63 ha et 1,15 ha (Bingwéogo), de 0,57 ha et 0,72 ha (Légoum). Ce qui porte à croire que les grandes exploitations, avec la main d'œuvre et le matériel agricole dont elles disposent, n'essayent pas d'étendre leurs surfaces mais travaillent sur des surfaces réduites. Est-ce là un signe d'une intensification en cours ?

3.2. Pratiques d'implantation des céréales complémentaires du zaï

Le zaï ne concerne qu'une partie du parcellaire des exploitations agricoles pour des raisons de disponibilité de FO, de main d'œuvre et compte tenu des caractéristiques du sol. De ce fait, on a observé à Ziga trois autres pratiques d'installation des cultures en plus du zaï (figure 2) : (1) le djengo : il s'agit d'une pratique qui se fait suivant le même principe que le zaï, c'est-à-dire confection de cuvettes avec ajout ou non de FO. Il se pratique exclusivement sur des sols sableux en saison pluvieuse, et donc demande moins de temps; (2) le labour suivi d'un semis simple au « koutoiga » (sorte de petite pioche) : il est pratiqué par des petites exploitations limitées en matériel agricole à Bossomboré-Yakin et à Légoum; (3) le semis direct au « koutoiga » (petite houe étroite) juste après le nettoyage de la parcelle, sans aucune préparation du sol : à l'exception du quartier Bingwéogo, le semis direct persiste dans les autres quartiers de culture, indifféremment de la taille de l'exploitation. En somme, il n'y a pas une conduite unique de l'implantation de la culture de sorgho au niveau des exploitations. Chaque exploitation pratique deux, trois ou toutes ces quatre conduites sur ses parcelles.

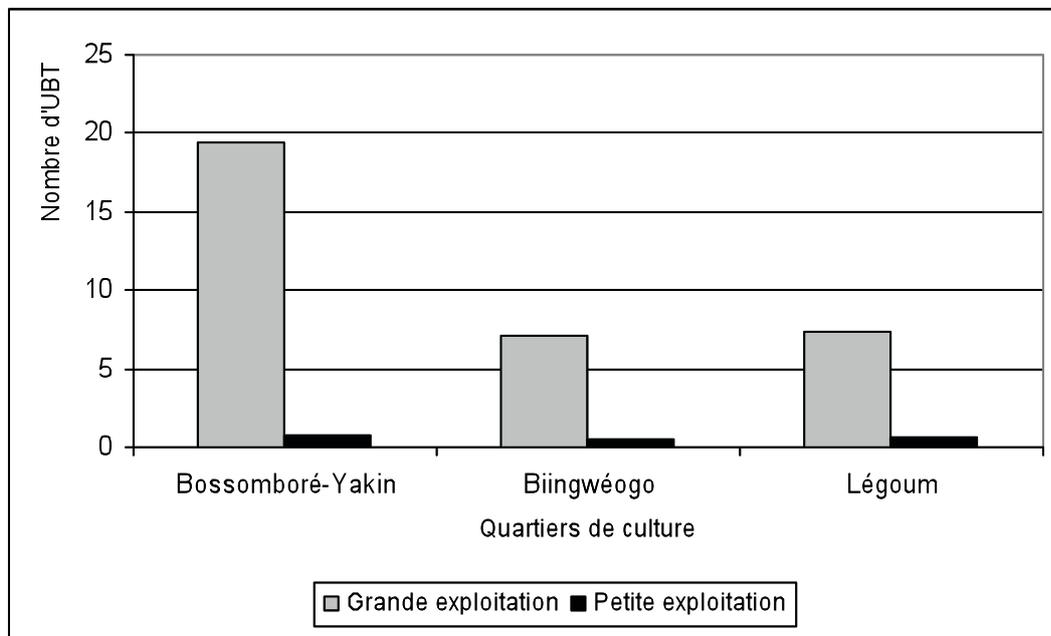


Figure 2 : Variation d'effectifs de ruminants entre exploitations selon les quartiers de culture en 2005

3.3. Pratiques d'utilisation de la fumure organique

Quatre pratiques d'implantation des cultures de céréale ont été observées sur les exploitations agricoles enquêtées : les pratiques de conservation de l'eau et de fertilisation organo-minérale que sont le « zaï » et le « djengo », le labour suivi d'un semis simple et le semis direct sans aucune préparation préalable du sol.

3.3.1. Description de la pratique du zaï

La pratique la plus couramment observée (53% des parcelles de zaï) renvoie à la définition courante du zaï : creusement de cuvettes, apport de FO en saison sèche. Mais d'autres variantes de zaï ont été inventoriées. Cette diversité « des zaï » se manifeste au travers de trois éléments majeurs : la période de creusement des poquets, la période de semis et l'apport ou non de FO. On aboutit ainsi à 5 types de zaï présentés à la figure 3. Cette diversité illustrée par la typologie peut s'expliquer par le manque de FO et de temps pour certaines exploitations. La fréquence des zaï de saison pluvieuse sera donc plus forte lorsque les pluies arrivent plus tôt. La diversité des pratiques autour du zaï est aussi observée à travers son délai de retour sur la même parcelle. En effet, l'analyse de la périodicité d'usage du zaï vient renforcer l'idée selon laquelle il n'y a pas une seule pratique de zaï « standard » mais de multiples variantes autour de cette pratique. On dénombre cinq modalités : a) dans 37,5% des cas, les paysans pratiquent le zaï tous les ans sur la même parcelle dans un poquet nouvellement creusé. Compte tenu du type de sol, les cuvettes de l'année n-1 disparaissent. Ainsi, les cuvettes en année n sont confectionnées au hasard, sans tenir compte des cuvettes précédentes ; b) ensuite, 37,5% des paysans enquêtés font du zaï de façon permanente en conservant les mêmes cuvettes. Dans ce cas, chaque année, les trous de l'année n-1 sont refaits et la FO est de nouveau apportée ; c) certains paysans (12,5%) font du zaï une année sur deux dans les mêmes cuvettes sur les mêmes parcelles. Ces derniers, après avoir pratiqué le zaï en année n, se contentent de faire un semis direct en année n+1 ; d) enfin 6,25% des paysans font du zaï deux années sur trois dans le même poquet et sur la même parcelle. Ainsi, après deux années successives de pratique du zaï, ils effectuent en 3ème année un semis direct et ainsi de suite ; e) la modalité suivante (6,25% des enquêtés) est liée au souci du paysan de faire apparaître une biomasse herbacée sur un sol complètement dénudé, notamment dans l'espace entre les cuvettes. Ainsi, ils creusent la cuvette de l'année n-1, épandent les débris de souche et la terre riche en FO entre les trous pour enrichir les espaces inter-poquets. Ici également, la localisation de la cuvette reste fixe d'une année à l'autre.

Le tableau 1 décrit quelques paramètres de parcelles cultivées en sorgho selon la pratique du zaï. La densité de trous creusés est de 23 210 ha⁻¹ sur les grandes exploitations contre 33889 cuvettes.ha⁻¹ pour les petites exploitations. Il faut en moyenne 68 jours et 52 jours à un actif pour aménager une parcelle d'un hectare en zaï, respectivement sur une grande et une petite exploitation. Par ailleurs, les dimensions des cuvettes de zaï sont significativement différentes entre grandes et petites exploitations. En effet, les petits diamètres mesurent 32,9 cm et 23,5 cm respectivement pour les grandes et les petites exploitations. Les grands diamètres sont de 36,4 cm et 26,6 cm respectivement pour les grandes et les petites exploitations. Quant à la profondeur, elle est de 10,6 cm pour les grandes exploitations et 10,3 cm pour les petites exploitations. Comme pour les dimensions des trous, la quantité de FO apportée dans les cuvettes de zaï est plus élevée chez les grands exploitants qui disposent d'une production importante de FO. Il y a aussi une relation entre taille du trou et quantité de FO apportée, les plus grandes cuvettes

recevant une quantité plus élevée. Elle est en moyenne de 542 g.cuvette⁻¹ chez les grandes exploitations contre seulement 230 g.cuvette⁻¹ dans les petites exploitations, ce qui correspond à des doses de 12,6 t.ha⁻¹ et 7,8 t.ha⁻¹, respectivement dans les deux cas.

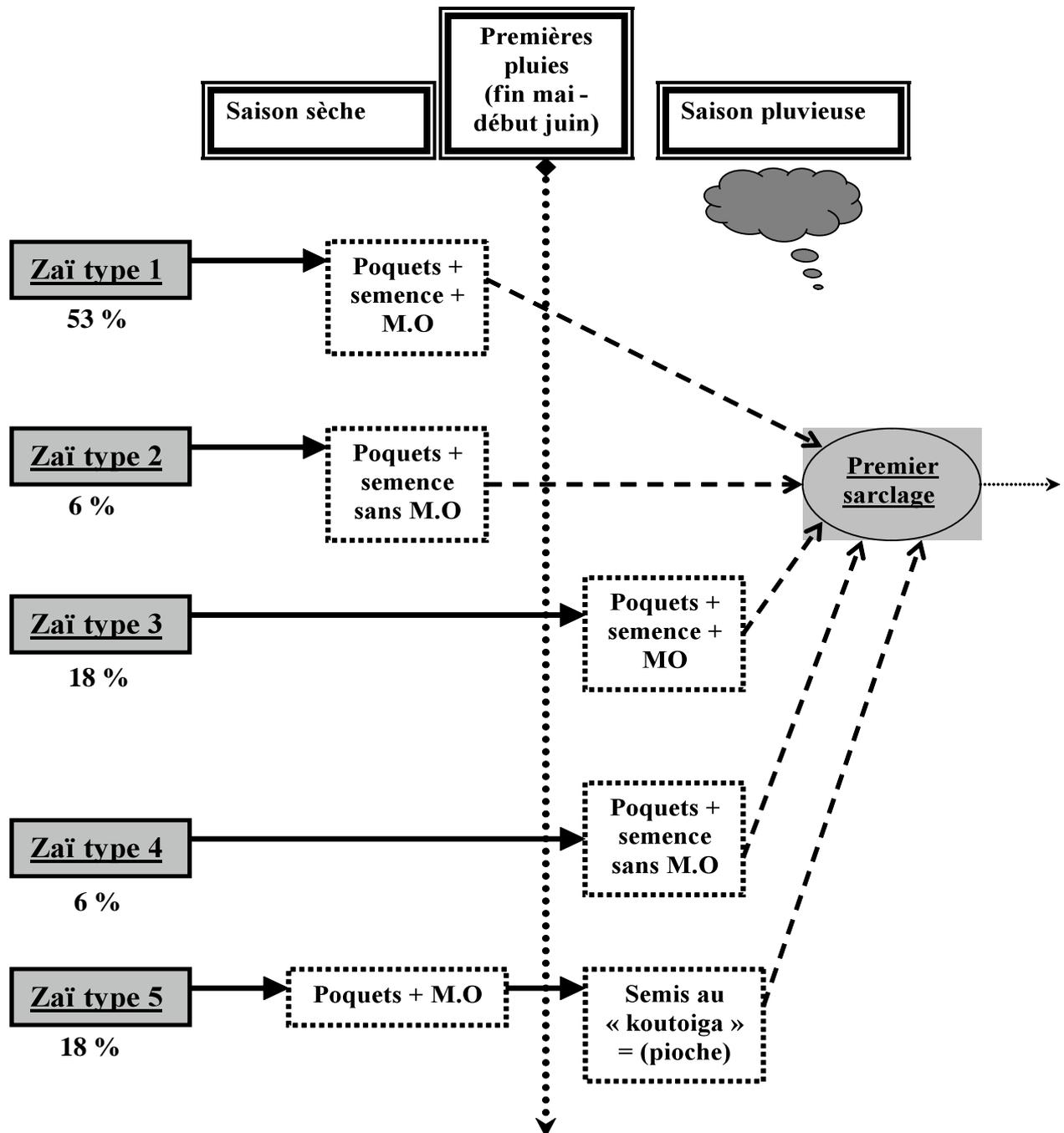


Figure 3 : Les différentes variantes du zaï pendant la phase de préparation des champs

3.3.2. Description de la pratique du djengo

L'autre pratique similaire au zaï mettant en œuvre une conservation de l'eau et des sols et une FO que nous avons rencontrée à Ziga est le « djengo ». Le nom « djengo » désigne l'outil, une houe à long manche, utilisé pour réaliser cette pratique. Il est mis en œuvre sur des sols sableux dans la grande majorité des cas et se réalise

exclusivement après l'installation de la saison pluvieuse. Il existe aussi plusieurs variantes dans la pratique du djengo qui sont les suivantes : a) Type 1 : « creusage après la levée des adventices + semis + FO » (27% des cas) : dans le cas présent, il s'agit de confectionner des cuvettes sur une parcelle déjà envahie par les mauvaises herbes, et y apporter les semences et de la FO ; b) Djengo 2 : « creusage après levée les adventices + semis sans FO » (33%) : cette variante est proche de la précédente, sauf qu'elle exclut un apport de FO ; c) Djengo après un labour en culture attelée + semis + FO (33%) : après un labour à plat (à la traction attelée), les paysans confectionnent des cuvettes assez larges dans ce lit de labour. Ils y apportent ensuite la FO ; d) Enfin Djengo après un labour en culture attelée + semence sans FO (7%) : celle là est identique à la précédente, sauf que là le semis se fait sans apport de FO.

En termes de périodicité interannuelle, la pratique de djengo a une seule modalité chez tous les paysans enquêtés, la localisation des cuvettes étant variable d'une année à l'autre. On observe également une relative homogénéité du nombre de cuvettes (en moyenne 41481 et 38889 cuvettes.ha⁻¹, respectivement pour les grandes et petites exploitations) et du temps mis dans l'aménagement des parcelles (15 et 24 jours.ha⁻¹, respectivement pour les grandes et petites exploitations) dans le cadre du djengo (tableau 1). De même, les dimensions des cuvettes dans le djengo ne sont pas significativement différents d'un type d'exploitation à l'autre : (i) petits diamètres : 26,7 cm et 22,5 cm pour les grandes et petites exploitations ; (ii) grands diamètres : 26,9 cm et 27,1 cm pour les grandes et petites exploitations et enfin (iii) les profondeurs : 7,7 cm et 8,3 cm pour les grandes et petites exploitations respectivement. Les quantités de FO apportées dans le cadre du djengo atteignent 8,76 t.ha⁻¹ au niveau des grandes exploitations contre 6,74 t.ha⁻¹ dans les petites exploitations.

Les différences zaï/ djengo sont synthétisées dans le tableau 2. Le zaï et le djengo diffèrent avant tout par l'outil utilisé. L'instrument de confection des cuvettes de zaï s'appelle le « boamboara » et est fait d'un court manche courbé prolongé d'une douille et d'une lame. L'instrument du djengo, quant à lui (le « djengo ») est fait d'un long manche. Cette différence de taille de manche induit de facto une différence de position du praticien : le zaï se creuse en position « courbée en deux », tandis que le djengo se fait en position débout. En outre, les trous de zaï sont plus grands que ceux du djengo, quel que soit le type de sol. Cette différence se ressent automatiquement sur la quantité de fumure par trou et donc la dose de fumure organique par hectare (tableau 1). Aussi, le zaï se réalise généralement en saison sèche sur des sols très massifs et encroûtés tandis que le djengo est fait exclusivement sur des sols sableux après une installation de la saison pluvieuse.

Tableau 1 : Les différentes caractéristiques de zaï et du djengo

Type de pratique	Exploitations	Densités des cuvettes (nombre/ha)	Temps mis dans l'aménagement (nombre de jrs/ha)	Diamètre 1 (en cm)	Diamètre 2 (en cm)	Profondeur de la cuvette (en cm)	Quantité de FO/ cuvette (en g)	Quantité de FO (en t/ha)
Zaï	GE CV (%)	23 210	68	32,9 ^a 7,0	36,4 ^a 6,1	10,6 ^a 9,8	542 ^a	12,57
	PE CV (%)	33 889	52	23,5 ^b 5,9	26,6 ^b 6,3	10,3 ^b 9,5	230 ^b	7,77
Djengo	GE CV (%)	41 481	15	26,9 ^a 11,1	26,7 ^a 9,0	7,0 ^a 15,5	211,1 ^a 12,8	8,76
	PE CV (%)	38 889	24	22,5 ^a 8,9	27,1 ^a 5,5	8,3 ^b 9,0	173,4 ^a 6,6	6,74

GE: grandes Exploitations; PE: Petites exploitations; CV: Coefficient de variation
Les nombres suivis de la même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différent ($P < 0,05$) pour une même pratique

Tableau 2: Principales différences en zaï et Djengo

Eléments de différence	Zaï	Djengo
Les outils	Boamboara	Djengo
Densité des cuvettes	27 481 ^a	39 753 ^b
Temps mis/ha	62 ^a	21 ^b
Diamètre 1 des cuvettes (cm)	31,3 ^a	25,8 ^b
Diamètre 2 des cuvettes (cm)	35,1 ^a	26,8 ^b
Profondeurs des cuvettes	10,9 ^a	7,4 ^b
Quantités de MO (g/cuvette)	417,3	185,7
Quantité de MO/ha (t/ha)	10,7	7,4
Type de sol	Majoritairement sur sols massifs	Exclusivement sur sols sableux
Période	En saison sèche et pluvieuse	Exclusivement en saison pluvieuse

Les nombres suivis de la même lettre sur la même ligne ne sont pas statistiquement différents ($P < 0,05$)

3.4. Production du sorgho : rendements et composantes du rendement

Les données de production de céréales montrent que les rendements sont corrélés au nombre de grains par panicule ou par épi dans le cas du sorgho et du mil (tableau 3.1). La comparaison des rendements du sorgho montre qu'il n'y a pas de différences entre les rendements grain du zaï, du djengo et du semis simple (tableau 3.2). Néanmoins, les parcelles de zaï ont produit 1,1 t.ha⁻¹ de grains de sorgho contre 0,92 t.ha⁻¹ et 0,93 t.ha⁻¹ de grain de sorgho, respectivement pour les parcelles en djengo et de semis simple. Les résultats des rendements sur le mil ont permis de comparer les effets de deux pratiques : le semis simple et le djengo, le zaï étant une pratique à laquelle est associée la culture du sorgho (Kaboré, 2005). Ces résultats (tableau 3.3) montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux pratiques, ni au niveau des rendements grain et paille, ni entre les composantes du rendement. Toutefois, le djengo permet un gain léger de grain et de paille par hectare, comparativement au semis simple.

Tableau 3a : Test de corrélation de Pearson (test paramétrique) entre le rendement et ses composantes

Composante du rendement	Sorgho (n=52)		Mil (n=15)	
	Coefficient de corrélation	p-value bilatérale	Coefficient de corrélation	p-value bilatérale
Nombre de poquets.ha ⁻¹	-0.164	0.246	-0.801	0.0001
Nombre de tiges poquet ⁻¹	0.293	0.036	0.497	0.056
Nombre épis/panicule tige ⁻¹	0.630	< 0.0001	0.103	0.715
Nombre grains épi ⁻¹	0.610	< 0.0001	0.753	0.001
Masse grain ⁻¹ (g)	0.277	0.048	0.38	0.162

Tableau 3b : Rendement (grain et paille) et ses composantes en sorgho (moyenne \pm se) pour les différentes pratiques culturales à Ziga, Burkina Faso. Anova et test de Newmans et Keuls de comparaison des moyennes (les moyennes ayant la même lettre appartiennent au même groupe)

Variabes	Semis simple (n=20)	Djengo (n=9)	Zai (n=23)	F Fischer	P value
Nombre de poquets.ha ⁻¹	31107 \pm 341 a	29336 \pm 200 b	28884 \pm 328 b	13.4	<0.001
Nombre de tiges.poquet ⁻¹	3.09 \pm 0.15	3.51 \pm 0.22	3.69 \pm 0.23	2.52	0.091
Nombre panicules.tige ⁻¹	0.57 \pm 0.05	0.47 \pm 0.03	0.49 \pm 0.04	1.522	0.228
Nombre grains.panicule ⁻¹	716 \pm 69 b	920 \pm 127 ab	997 \pm 77 a	3.54	0.037
Masse grain ⁻¹ (g)	0.023 \pm 0	0.021 \pm 0.001	0.021 \pm 0	2.68	0.079
Rendement grain (Mg.ha ⁻¹)	0.93 \pm 0.13	0.92 \pm 0.16	1.1 \pm 0.13	0.52	0.599
Rendement paille (Mg.ha ⁻¹)	1.82 \pm 0.19 b	2.32 \pm 0.49 ab	2.96 \pm 0.35 a	3.69	0.032

Tableau 3c : Rendement (grain et paille) et ses composantes en mil (moyenne \pm se) pour les différentes pratiques culturales à Ziga, Burkina Faso. Anova et test de Newmans et Keuls de comparaison des moyennes (les moyennes ayant la même lettre appartiennent au même groupe)

Variabes	Djengo (n=6)	Semis simple (n=9)	F Fischer	P value
Nombre de poquets.ha ⁻¹	31423 \pm 802	32943 \pm 102	5.39	0.037
Nombre de tiges.poquet ⁻¹	3.33 \pm 0.13	2.78 \pm 0.14	7.33	0.018
Nombre épis.tige ⁻¹	0.53 \pm 0.05	0.62 \pm 0.05	1.39	0.26
Nombre grains.épi ⁻¹	1350 \pm 293	939 \pm 79	2.62	0.13
Masse grain ⁻¹ (g)	0.011 \pm 0.001	0.012 \pm 0.001	0.32	0.579
Rendement grain (Mg.ha ⁻¹)	0.8 \pm 0.17	0.59 \pm 0.06	2.04	0.177
Rendement paille (Mg.ha ⁻¹)	1.68 \pm 0.5	1 \pm 0.11	2.61	0.13

3.5 Régénération du couvert végétal à l'échelle du terroir villageois

De cette étude, il ressort une reprise du couvert végétal. Toutefois, ce couvert reste typique des savanes arborées et arbustives claires de la zone soudanienne. L'inventaire des ressources floristiques présente effectivement la régénération de diverses espèces (*Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Adansonia digitata*, *Lannea microcarpa*, etc.). A l'opposé, des espèces comme *Vitellaria paradoxa* (karité), *Ziziphus mauritiana* (jubarier), *Bombax costatum*, etc. sont en régression. Cette régénération a deux origines : la régénération naturelle et la plantation (surtout pour *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Bauhinia rufescens*). Aux dires des paysans, les cordons pierreux arrêtent les graines des espèces ligneuses et leur procurent un milieu longtemps humide et riche en éléments nutritifs juste en amont du cordon. La levée de la graine et la pousse de la jeune plante sont ainsi favorisées. Par contre, une espèce comme *Vitellaria paradoxa* disparaît plus qu'elle ne se régénère, ce qui fait d'elle une espèce menacée. Ainsi, en 20 ans sur une superficie de 57 ha, près de 100 pieds de karité ont disparus. Tous les paysans enquêtés attribuent la disparition du karité à la péjoration climatique ou à l'assèchement du sol. En résumé : 1) les cordons associés aux pratiques décrites précédemment (zaï et djengo) ont favorisé la reprise de la végétation ligneuse ; 2) les espèces régénérées sont plutôt de type sahéenne, utiles pour le bois de feu et l'alimentation du bétail ; 3) les espèces de type soudanienne, plus exigeantes (karité, néré, bombax, ...) sont en train de disparaître.

4. DISCUSSION

4.1. Déterminants des pratiques du zaï et du djengo

Les principes du zaï et le djengo sont d'augmenter le stockage de l'eau en limitant le ruissellement et améliorer la nutrition de la plante cultivée par un apport localisé de fumure organique et minérale. Les effets du zaï sur les sols et les rendements agricoles sont largement documentés (Roose et al., 1993 ; Roose et al., 1999 ; Somé et al., 2004).

La forte diversité des techniques autour des ces deux pratiques relevées dans cette étude est liée aux contraintes de leur application. En effet, la pratique du zaï au sein des exploitations est déterminée par plusieurs facteurs :

- Les types de sols : l'importance de ce facteur s'analyse à deux niveaux : (i) à l'échelle de l'exploitation, le type de sol d'une parcelle va déterminer en partie son aménagement en zaï ou pas. En général, les sols à consistance dure (zipellés, sols graveleux) sont préférés aux sols sableux pour le zaï ; (ii) à l'échelle d'un territoire, l'importance du zaï va être fonction de l'importance spatiale de sols qui sont impropres aux autres pratiques d'implantation des cultures. Dans ce cas, le zaï permet de conquérir des sols non cultivés.
- La main d'œuvre et le temps de travail : La présence d'une main d'œuvre jeune, nombreuse et motivée, permet d'aménager des surfaces importantes en zaï, en un délai assez court. Ainsi, face à la pénibilité du zaï et au peu de temps disponible, une main d'œuvre nombreuse est importante. En effet, les grandes exploitations disposent en moyenne de deux fois plus d'actifs familiaux que les petites exploitations (11 actifs contre 5). Ce qui leur permet d'aménager des cuvettes de plus grande taille dans leur zaï. De plus, l'anticipation par rapport aux premières pluies détermine l'importance de l'aménagement en zaï des parcelles d'une exploitation.
- La disponibilité des animaux : la disponibilité en bétail et donc en fumier, est un facteur incontournable dans la pratique du zaï. On constate que les grandes exploitations qui disposent de plus de fumier ont une propension à confectionner des cuvettes de plus grandes tailles. Cela témoigne de la différence de stratégie qui prévaut dans la gestion de la matière organique, car plus le trou est grand, plus on devrait y apporter beaucoup plus de matière organique.

4.2. Localisation de la FO, une voie de l'intensification agricole ?

Les résultats ont montré que le zaï qui est généralement pratiqué sur des sols médiocres (sols encroûtés), voire marginaux, pourrait donner des rendements aussi bons ou mêmes meilleurs que ceux obtenus avec le semis simple, le djengo, etc., qui sont souvent réalisés sur les meilleurs sols (sols de bas-fonds, sols non encore encroûtés, etc.). Ainsi, à l'échelle du terroir, on peut parler d'extensification des systèmes de culture. En effet, cette pratique de zaï a permis d'exploiter des sols jusqu'ici inexploitable par les techniques culturelles d'antan et d'augmenter l'offre potentielle en terre. Cela est particulièrement fondamental dans des sociétés où la pression démographique conduit à une insuffisance ou une réduction du parcellaire des exploitations familiales. Toutefois, à l'échelle de la parcelle, on assiste à une véritable intensification des systèmes de culture avec les pratiques de zaï et de djengo, puisqu'on part d'un sol qui ne produit pratiquement rien à une production identique aux « sols plus facilement cultivables ». La confection des cuvettes et des cordons pierreux, la localisation de la fumure organique et minérale, constituent une

forme d'intensification du travail et du capital. Pourtant, pour être performants, le zaï comme le djengo ont besoin de quantités de FO assez importantes disponibles comme l'ont montré nos résultats. Mais la production de cette fumure suppose le maintien et la sécurisation de l'élevage. De ce fait, des mesures d'accompagnement de l'élevage s'imposent : approvisionnement en aliments concentrés à moindre prix, assistance sanitaire, etc. Il se pose alors la problématique de la charge en bétail dans un espace de plus en plus utilisé pour l'agriculture. En effet, le maintien des troupeaux dans le territoire villageois implique de préserver des espaces de parcours pour la saison des pluies. Ce que les agriculteurs de Ziga ont réussi à faire jusqu'ici. Mais jusqu'où ces espaces pourront-ils supporter cette charge grandissante ?

4.3. Changements de pratiques et viabilité de l'agrosystème villageois

Les premiers travaux CES/DRS ont débuté à Ziga en 1960 avec le programme GERES (1960-1964). Ce programme a eu un succès très limité au regard de l'investissement consenti et de l'effet négatif des diguettes en terre. Suite aux sécheresses des années 1984-85, les actions du programme RD vont être réorientées vers l'aménagement du territoire en cordons pierreux et en bandes enherbées. Ainsi, une superficie de 700 ha (18% de tout le territoire villageois) a été aménagée en cordons pierreux entre 1987 et 1990 (Dugué et al., 1993) avec l'appui logistique et technique du programme Recherche Développement (RD). Selon le projet CORAF/CRDI (2002), 35% des champs étaient aménagés en cordons pierreux. Nos résultats en 2005 montrent que 65% des superficies cultivées à Ziga portent des cordons pierreux. Tous ces chiffres témoignent d'un changement progressif et rapide des pratiques de lutte contre le ruissellement.

Dans ses travaux, Marchal (1983) ne mentionne aucunement la pratique de zaï mais plutôt celle du buttage manuel qui avait pour fonction d'enfouir les mauvaises herbes et d'accroître la rugosité du sol. En 1989, Dugué n'observait pas une ampleur considérable du zaï à Ziga ainsi que le djengo. Visiblement, ces pratiques n'étaient pas bien connues ou trop peu répandues dans ce village dans les années 80. Plus récemment, divers travaux montrent toute l'importance du zaï à Ziga : près de 35% (rapport du projet R3S, 2002) et 30% (Kaboré, 2005) des parcelles aménagées en zaï. Ceci montre la diffusion rapide de ces pratiques de CES dans ce village, pour faire face aux contraintes pédoclimatiques et démographiques de la zone.

A Ziga, nous avons mis en évidence une régénération de la strate arborée imputable à l'évolution des pratiques des paysans et aux interventions diverses de conservation des eaux et des sols (CES) (Kaboré, 2005). Les travaux de Roose et al. (1999) ainsi que ceux de Reij et Thiombiano (2003) ont abouti à des résultats similaires dans d'autres villages du Yatenga. L'on est bien en présence d'une évolution significative des pratiques agricoles sur le terroir de Ziga qui a permis un maintien de la production agricole voire une amélioration de cette production. La conservation de l'eau et des sols associée à une fertilisation organique et minérale semble déterminante dans ces évolutions. Dans les années 1970 et 80, les populations rurales du Yatenga et celles de Ziga ont connu de graves crises alimentaires qui ont été jugulées par un exode rural massif vers l'Ouest du Burkina Faso et le Sud de la Côte d'Ivoire. Aujourd'hui, la situation semble tout autre. Comme nous montrent les résultats de ce travail, visiblement Ziga est dans une dynamique de type Boserupienne, dans un contexte favorisé par une légère augmentation des moyennes pluviométriques depuis une dizaine d'années. Selon Boserup (1970), l'augmentation de la population rurale dans les pays sous développés est un facteur favorable à l'intensification agricole et aux processus d'innovation. La diversité des

techniques autour des pratiques de zaï et de djengo tend à confirmer la dynamique d'innovation des paysans avec l'appui des acteurs du développement institutionnel ou associatif. Il s'agit d'une pression créatrice, c'est-à-dire que les populations rurales modifient leurs pratiques et les différents flux à l'échelle des terroirs et des exploitations pour s'adapter aux nouvelles contraintes et pour mieux produire. Jouve (2004) précise que dans les pays les moins avancés, le recours au capital est très limité et l'intensification ne pourra se faire que si la densité de population est suffisamment élevée pour fournir la force de travail qu'exige cette intensification. La mise en place des cordons pierreux, des fosses fumières et façons culturales décrites ici est très lourde en main d'œuvre. Les projets de développement ont indéniablement permis ce processus de transformation (programmes de financement des cordons pierreux ou des fosses fumières). A l'instar des travaux dans l'Est du Burkina Faso de Mazzucato et Niemeyer (2000), les transformations sociales et leur adaptation suite aux changements démographiques et environnementales sont pour une grande part dans l'amélioration des conditions de la production agricole après une phase de dégradation. Ces aspects sociaux de l'évolution de la gestion des ressources naturelles par les populations devront être approfondis à Ziga.

5. Conclusion

Cette étude des pratiques agricoles sur le terroir de Ziga montre que l'on est dans un processus de transition agraire tel que l'a défini Jouve (2004). Cette situation traduit une sorte de résilience des sociétés rurales face aux contraintes socio-démographiques et environnementales auxquelles elles sont confrontées. Cette étude montre également que concentrer l'eau et un peu de biomasse est tout à fait insuffisant pour obtenir des rendements optimums: Il est difficile dans un circuit fermé comme un terroir d'apporter assez de nutriments organiques pour tirer le meilleur parti de l'eau disponible. Il est indispensable de rajouter des engrais minéraux (si possible NPK) en doses raisonnables et réparties en fonction des besoins des plantes.

Les structures d'appui (Recherche et Développement) doivent favoriser cette transition agraire et l'intensification agricole en valorisant les savoirs et savoir-faire paysans, de façon à mobiliser les capacités endogènes des sociétés rurales pour lutter contre la dégradation de leur environnement. Reste cependant une question sur la capacité de ces terroirs agricoles à faire face à un besoin accru de production agricole pour assurer non seulement une production de subsistance des populations rurales mais pour également nourrir une population urbaine de plus en plus importante. Mais le succès du zaï ne doit pas cacher une réalité : le zaï n'est pas la solution à tous les problèmes des agriculteurs de Ziga. En effet, comme le disait un paysan de Ziga, « le zaï ne fait pas pleuvoir ». C'est pourquoi, dans le souci de limitation du risque, les paysans diversifient leurs pratiques (localisation des parcelles sur différents types de sol), leurs variétés, etc. Il semble alors important d'associer zaï et variétés précoces, pour mieux assurer la récolte dans le Yatenga.

6. Références

Bilgo A, Masse D, Sall S, Serpantié G, Chotte J-L, Hien V, 2006. *Chemical and microbial properties of semiarid tropical soils of short-term fallows in Burkina Faso, West Africa.* Biol Fertil Soils. DOI 10.1007/s00374-006-0107-4.

- Boserup E, 1970.** *Évolution agraire et pression démographique*. Flammarion, Paris
- CRDI/CORAF, 2002.** *Activités de recherche conduites dans le cadre du projet R3S : intégration agriculture-élevage et gestion des ressources naturelles (campagne 2001-2002)*. Rapport technique. 50p.
- CPCS, 1967.** Classification des sols. Travaux de la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (1963-1967). ENSA-Grignon, Laboratoire de Pédologie-Géologie, Paris, 96 p.
- Dugué P, Roose E, Rodriguez, 1993.** *L'aménagement de terroirs villageois et l'amélioration de la production agricole au Yatenga (Burkina Faso) : Une expérience de recherche-développement*. Cah. Orstom, sér. Pédol.,28, 2 : 385-402
- Dugué P., 1989.** *Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne : le cas du Yatenga (Burkina Faso)*. Extrait de thèse de l'ENSAM, Collection « Documents Systèmes Agraires » N°9 du CIRAD. 267p.
- Dugué P., 1986.** *Programme de Recherche-Développement au Yatenga, programme d'agronomie*. Rapport de synthèse 1984. 29p.
- Jouve P., 2004.** *La croissance démographique, frein ou opportunité pour une intensification agricole durable en Afrique subsaharienne ? Transition agraire et résilience des sociétés rurales*. Autres repères, autres paysages. Courrier de l'environnement de l'INRA n°52, 6p.
- Jouve P., 2005.** *Dynamiques agraires, jachères et contextualisation des résultats*. In : Floret C.
- Hien E., Ganry F. and Oliver R., 2006.** Carbon Sequestration in a Savannah Soil in Southwestern Burkina as Affected by Cropping and Cultural Practices. *Arid Land Research and Management* 20 (2), 133-146.
- Hien V., 2004.** L'expertise collégiale du « PROJET JACHERE » : Résultats de recherches transférables en milieu paysan dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest. pp 11-18.
- FAO, 1998.** World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports
- Kaboré WT, 2005.** *Pratiques d'utilisation de la fumure organique dans les systèmes de culture et viabilité de l'agrosystème : cas du zaï au Burkina Faso*. Thèse de M.Sc, CNEARC-Montpellier. 96p.
- Marchal JY, 1983.** *Yatenga, nord Haute-Volta : la dynamique d'un espace rural soudano-sahélien*. ORSTOM, Paris.
- Mazzucato V, Niemeijer D, 2000.** *Rethinking soil and water conservation in a changing society: a case study in eastern Burkina Faso*". *Tropical Resource Management Papers*, 380p.
- McMilland D, Nana JB, Sawadogo, 1990.** *Settlement and Development in River Basin control Zones: Case study Burkina Faso*. World Bank Technical Paper No.200.
- Roose E, Kaboré V, Guenat C, 1993.** *Le zaï : fonctionnement, limites et améliorations d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso)*. *Cahiers ORSTOM Pédologie*, Spécial érosion : réhabilitation des sols et GCES. pp 158-173.
- Roose E., 1994.** Introduction à la GCES. *Bull. FAO des Sols*, 70 : 420 pp.
- Roose E, Kabore V, Guenat C, 1999.** The Zai practice: a west african traditional rehabilitation system for semi-arid degraded land (Burkina Faso), *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13,: 343-355.
- Reij C., Thiombiano T., 2003.** Développement rural et environnement au Burkina Faso : la réhabilitation de la capacité productive des terroirs sur la partie nord du Plateau Central entre 1980 et 2001. GTZ-PATECORE, USAID, rapport de synthèse. 82p.
- Somé D., Zombré PN., Zombré G., Macauley HR., 2004.** *Impact de la technique du zaï sur la production de niébé et sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols très dégradés (zipellés) du Burkina Faso*. Note de recherche. *Sécheresse*. 15, 3 : 8p.

Amélioration de la gestion paysanne de la fertilité des sols des versants cultivés des collines, du bassin versant de Maniandro (Madagascar)

Edmond ANDRIAMBELOMANGA⁽¹⁾, Simone RATSIVALAKA⁽¹⁾, Nicolas ANDRIAMAMPIANINA⁽²⁾, Jean-Chrysostôme RANDRIAMBOAVONJY⁽³⁾, Mparany ANDRIAMIHAMINA⁽¹⁾,

⁽¹⁾, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de géographie, BP 907 Ankatso, 101 Antananarivo, Université d'Antananarivo, Madagascar

⁽²⁾, Centre National de Recherche pour le Développement Rural (FOFIFA), Département de Recherche Forestière et Piscicole, Ambatobe, Université d'Antananarivo, Madagascar

⁽³⁾, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département Forêt, Université d'Antananarivo, Madag
E mail : eandriambelo@gmail.com

Résumé : Le présent travail développe l'étude pour l'amélioration de la fertilité des terres des flancs cultivés des collines dans le bassin versant de Maniandro, situé à 25km au nord d'Antananarivo, sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar. Les observations, les mesures d'érosion sur parcelles et les essais de fertilisation organo-minérale permettent de dégager l'importance des problèmes d'érosion hydrique et de la pauvreté physico-chimique des sols. Cette situation est aggravée par des contraintes socio-économiques. La persistance d'un aménagement paysan et d'une stratégie traditionnelle de gestion de la fertilité des sols ne permet que la survie des paysans. Elle renforce la dégradation du milieu écologique et la précarité de la vie de la population. La technique culturale sous couverture végétale morte ou vivante et l'utilisation des engrais organiques à base de fumier de parc, de la dolomie, de guano et de troncs de bananiers hachés sont les solutions préconisées. Mais cette initiative des chercheurs a ses limites économiques et spatiales et donc nécessite l'intervention de l'Etat et des autres acteurs de développement rural.

Mots clés : Madagascar, Aménagement, Erosion, Fertilité des sols, *Tanety*

Abstract: This paper reports the studies about improvement of soils fertility of *tanety* in the watershed of Maniandro, located at 25 km North of Antananarivo in the Central Region of Madagascar Highland. The research and measurements of soil erosion underlines the importance of soil erosion problems, the physicochemical soils poverty and the socio-economic constraints of poor farmers. The traditional strategy of management of soils fertility allows only the survival of the farmers. It reinforces population's poverty and ecological degradation. The recommended solutions are the farming technique under vegetation cover and the organic manures use: manure of park, dolomite, and guano and trunks of banana trees. But this initiative of researchers has economic and space limits and requires the intervention of State & other actors of rural development.

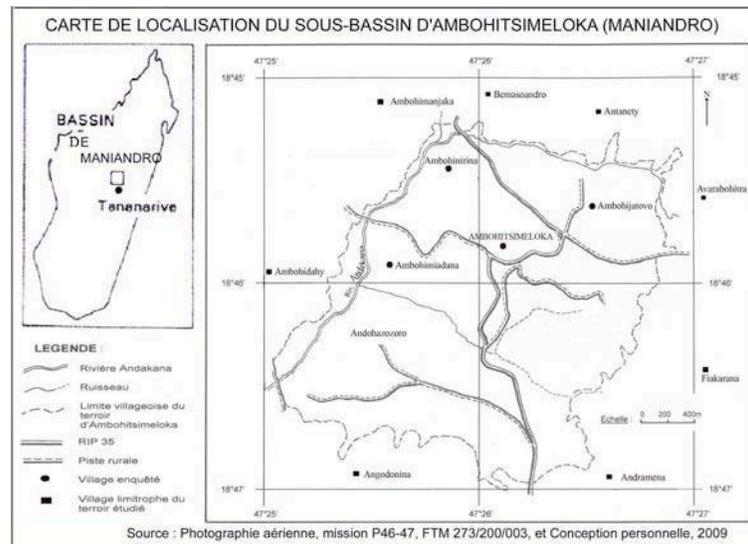
Key words: Madagascar, Management, Erosion, Soils fertility, *Tanety*

INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet "EROSION" financé par l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF). Les organismes associés dans ce projet sont, du côté malgache : le Département de Géographie de l'Université d'Antananarivo et le Département Forêts de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), le Département de Recherche Forestière et Piscicole (DRFP) du Centre National de Recherche pour le Développement Rural (FOFIFA), et du côté français : Département de Géographie de l'Université J Moulin Lyon 3 et Maison de la Télédétection de Montpellier.

L'étude est faite au niveau du sous bassin versant d'Ambohitsimeloka, dans le bassin versant de Maniandro. C'est un espace humanisé dans lequel la problématique de la dégradation des sols causée par un aménagement extensif des flancs cultivés des collines ou *tanety* est plus importante. La problématique de notre étude est de savoir quelles sont les améliorations qu'on peut apporter dans la gestion paysanne de la fertilité des terres dans le cas des sols de *tanety* du bassin versant de Maniandro? Ambohitsimeloka se trouve à 23 km au nord-ouest de la capitale Antananarivo. Il s'étend de la latitude 18°45'S à 18°47'S et de la longitude 48°25'E à 48°27'E avec une altitude comprise entre 1250m et 1450m (figure 1).

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude



L'objectif de la recherche est de contribuer à une meilleure compréhension des stratégies traditionnelles de gestion de la fertilité des sols et d'identifier les différentes contraintes liées à cette gestion paysanne afin d'apporter des solutions d'amélioration pour contrôler l'érosion et améliorer la fertilité des sols, pour pérenniser les activités agricoles.

METHODOLOGIE

La méthodologie adoptée commence par des recherches bibliographiques réalisées en 2006. La documentation a permis de mieux connaître la zone d'étude et d'approfondir nos connaissances sur le thème. Les études sur terrain combinent deux méthodes : observation du paysage agricole et enquêtes sur les ménages réalisés en janvier 2007. L'observation sur transect est une approche systémique nous permettant de ressortir tous les problèmes d'érosion et de fertilité à l'échelle du paysage et des parcelles cultivées, et tous les modes d'aménagement agricole existants. L'enquête sur terrain s'est appuyée sur l'interview des exploitants à l'aide d'un questionnaire semi-structuré. L'échantillonnage est basé sur le principe du choix au hasard avec une fraction de sondage de 1/5 soit 45 ménages sur les 220 recensés issus de 1 200 habitants du village d'Ambohitsimeloka dans le bassin versant de Maniandro, en 2006. Des données quantitatives et qualitatives sur divers aspects de l'étude ont été collectées, puis analysées en vue d'établir le présent article.

La méthode de recherche inclue aussi des mesures d'érosion, de la fertilité des sols ainsi que des essais de fertilisation sur la culture des haricots.

- Trois parcelles d'érosion de 10m x 10m, délimitées par des tôles enfoncées dans la terre ont été mises en place pour mesurer le ruissellement et la perte en terre. Le dispositif de collecte des données est obtenu avec des cuves d'érosion composées de deux fûts de 200 litres chacun et reliés entre eux par un partiteur à 11 fentes. La méthode de mesure d'érosion porte sur l'évaluation des impacts des dispositifs antiérosifs sur l'érosion et l'état de la fertilité des sols. Trois dispositifs de gestion des sols et des eaux sont mis en place : Parcelle 1 : Paillage constitué de graminées collectées sur place, Parcelle 2 : Parcelle témoin sans dispositif antiérosif, Parcelle 3 : culture sous couverture végétale vivante de *Stylosanthes gracilis*.

- Les analyses chimiques du sol ont concerné des prélèvements de sol faits dans l'horizon A1 (0-15cm) avec un échantillon issu de quatre répétitions de prélèvements d'échantillons dans chaque placeau de 2m x 5m. Elles concernent le pH eau, les cations échangeables : Ca, Mg, K (méthode d'extraction à l'acétate d'ammonium – Lecture au spectrophotomètre d'absorption atomique), le P assimilable (méthode de Bray II), l'Azote et l'Aluminium (méthode de Kjeldhal) et la Matière Organique (méthode de Walkley Black).

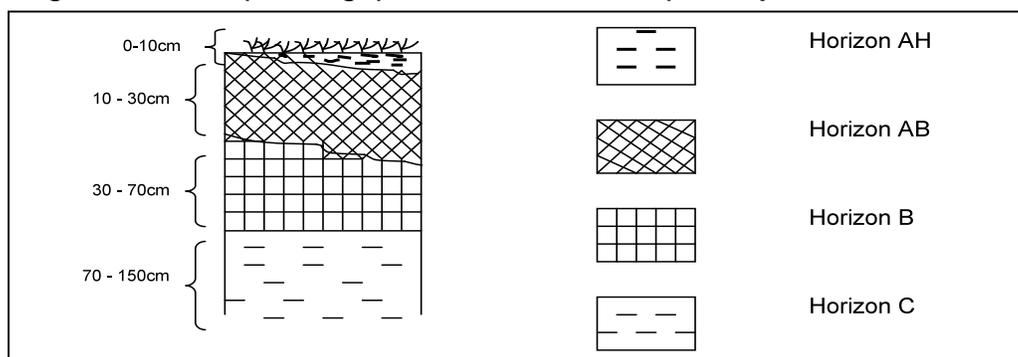
- L'expérimentation agronomique consiste à faire deux essais de fertilisation : Essai 1 : fertilisation minérale et organique du haricot par des engrais chimiques (dolomie, K, P₂O₅) et du fumier de parc ; Essai 2 : fertilisation organique du haricot avec de fumier de parc et de l'amendement dolomitique, de l'engrais phosphaté (guano) et de tronc de bananier haché. L'expérimentation cherche à étudier l'effet de doses de ces fumures sur le haricot. La production est évaluée en poids de graines sèches sur 10m² et t/ha.

RESULTATS

Faible fertilité physico-chimique des sols des *tanety*

De par l'observation et l'analyse chimique des sols du bassin versant de Maniandro, on note la présence des contraintes pédologiques. Les sols de versants sont ferrallitiques rajeunis. Les observations sur terrain ont permis de décrire ces sols (figure 2).

Figure 2 : Profil pédologique des sols ferrallitiques rajeunis de Maniandro



- 0 – 10 cm : Horizon AH : l'horizon humifère de couleur rouge brun, la texture est limono-argileuse avec une structure grumeleuse. On observe aussi une cohérence structurale grâce aux matières organiques.
- 10 – 30 cm : Horizon AB brun rouge, limon argilo-sableux, humide, meuble, structure grumeleuse, présence de quelques grains de quartz
- 30 – 70 cm : Horizon B, de couleur brun rouge. Elle contient des minéraux. C'est un horizon à structure massive et à texture limono-argileuse, en présence de quelques grains de quartz.
- 70 – 150 cm : Horizon C, de couleur rouge bariolé, à texture limono-sableux, structure primaire continue et secondaire polyédrique. Présence de nombreux débris de roche altérée : feldspaths, quartz, minéraux.

D'après la figure 2, l'horizon humifère dans les sols de *tanety* a une épaisseur très faible. Le ruissellement provoque le décapage de la couche superficielle. Or, la faiblesse de l'horizon AH et la fragilité de la structure de l'horizon AB ne permettent pas l'infiltration de l'eau et donc la nutrition minérale des plantes. A titre de comparaison, les terrasses, en contrebas des *tanety*, ont de bons sols de colluvions apportés par le ruissellement. L'horizon arable AH dépasse 40cm. Selon Rakoto-Ramiantsoa (1995), le sol mou non cohérent et la couleur sombre sont de bons signes de fertilité. Les sols ont une structure stable et résistent aux impacts de gouttes de pluie.

Du point de vue chimique des sols, on constate une variabilité spatiale de la fertilité.

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques des sols du bassin versant de Maniandro (Ratsivalaka et al, 2007)

Unité topographique	pH	MO	P ass.	N	C	Ca	Mg	K	S
		%	ppm	%	%				
Sols des versants cultivés ou <i>tanety</i>	5,13	1,13	4,47	0,071	0,88	1,20	0,13	0,14	1,47
Sols de bas de pente ou terrasses	6,14	4,18	17	0,28	-	3,11	1,03	0,69	4,48

Les sols de *tanety* sont chimiquement pauvres. La somme en bases échangeables en K, Ca et Mg est très déficiente : inférieur à 4 méq/100g de sol. Les analyses chimiques mettent en évidence la faible teneur en P assimilable qui tourne autour de 5. Le pH du sol, inférieur à 5 est acide. Les matières organiques (M.O) représentent moins de 1,5% des sols, donc déficientes. En effet, les teneurs en N total et en C organique sont très faibles. La teneur faible en M.O et le taux élevé de minéralisation ne permettent pas la formation de complexe organo-minéraux plus stable pour le stockage des nutriments assimilables (Terre-Tany., 1995). Dans ce cas, les sols ont une carence en nutriments indispensables pour les plantes. Leur développement est donc mis en cause. En revanche, les sols des terrasses sont fertiles : ils sont riches en bases échangeables en Ca, Mg et K (avec une somme plus de 5méq/100g), en M.O (supérieure à 4méq/100g) et en P assimilable (équivalent de 17ppm/100g). Le pH est presque neutre.

Gestion traditionnelle de la fertilité des sols

Les paysans gèrent la fertilité de leurs terres par trois méthodes complémentaires : la gestion horizontale, la gestion verticale et la gestion intégrée de la fertilité des sols.

- *La gestion « horizontale » de la fertilité des sols* consiste en la régénération de la fertilité provenant des transferts réalisés par des prélèvements d'éléments fertilisants sur d'autres parties du terroir (Rollin, 1994). L'apport de fumier sur les parcelles illustre la gestion horizontale de la fertilité. Le parc à bœuf constitue le centre de production de fumier de parc (photo 1). Le prélèvement de la litière, une biomasse végétale constituée de *Aristida multicaulis* ou *bozaka* (Rakoto-Ramiarantsoa, 1995), équivalent de 5 charrettes ou 500 kg/semaine est nécessaire pour produire du fumier. La production de fumier dépend de la quantité de la litière apportée au parc et du nombre de bovins. Elle varie de 0,5 à 1,5 charrette ou 300 à 500 kg/semaine de fumier. 7 et 10t/ha de cette production sont apportés chaque année dans les champs cultivés de *tanety*. La plupart de la production de fumier : entre 20 et 30t/ha, est réservée aux terrasses et rizières.



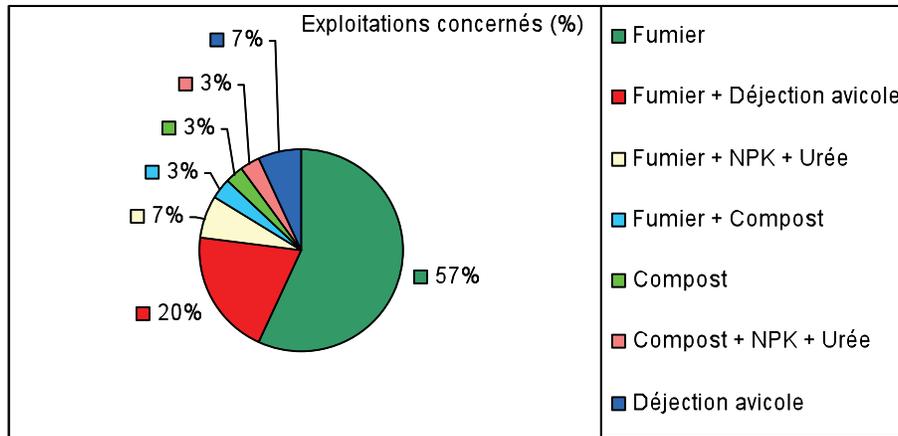
Photo n° 1 : Centre de production paysanne de fumier organique (le fumier de parc ou "zezi-pahitra")



Photo n° 2 : L'apport de fumier de parc sur une parcelle de culture de haricot avant le semis

L'utilisation paysanne d'engrais montre une diversification des éléments fertilisants. Mais, le fumier de parc reste le plus utilisé (figure 3).

Figure 3 : Engrais utilisés par les paysans de Maniandro (Andriambelomanga, 2007b)

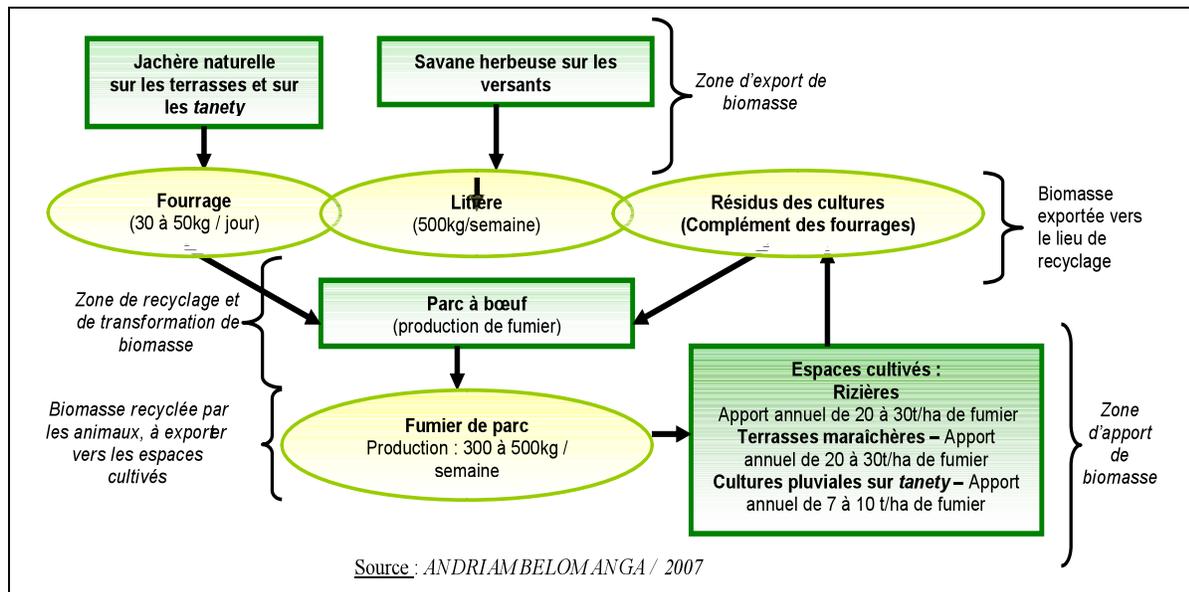


- La gestion « verticale » de la fertilité est la régénération de la fertilité des sols qui provient du milieu lui-même au niveau de la parcelle (Rollin, 1994). Ici, deux types de gestion verticale sont adoptés par les paysans : aménagement du sol et jachère naturelle. Le labour est la principale technique d'aménagement du sol des *tanety*. Il est parfois suivi de l'aménagement des trous de plantation. La succession de ces techniques permet de régénérer la fertilité des sols. La jachère est pratiquée sur les parcelles de *tanety*. Après 2 à 4 ans de cultures, les paysans laissent en jachère leurs parcelles pendant 1 à 4 ans suivant la vitesse de colonisation par les herbes. La diversité d'herbes signifie une régénération de la fertilité. La jachère empêche l'érosion et accroît l'humidité du sol. Mais la pression foncière réduit ou fait disparaître la jachère.
- La "gestion intégrée" des eaux, des sols et de la biomasse dans les parcelles et sur l'ensemble du bassin versant consiste à cultiver des plantes pour freiner l'érosion et à aménager des canaux ou trous collecteurs des eaux de pluie afin d'améliorer la fertilité (photo n°3 et photo n°4).



La "gestion intégrée" des sols et de la biomasse s'est traduite par la production des plantes sur la parcelle et sur l'ensemble du bassin versant pour nourrir le bétail afin de produire du fumier. Le fumier de parc produit est destiné à fertiliser les sols cultivés (Figure 4).

Figure 4 : Schéma de la gestion intégrée de la biomasse et de la fertilité des sols



Dans les zones d'export : jachère et savane herbeuse, on prélève de la matière végétale soit pour nourrir le bétail (30 à 50kg de fourrage/jour/éleveur) soit pour produire de la litière (500kg/semaine). Les zones de culture produisent aussi de la biomasse de faible quantité : les résidus de cultures qui sont exportés vers le parc des animaux pour y être recyclés. En se nourrissant, les animaux prélèvent de la matière végétale, la transforment en matière organique décomposée pouvant facilement se minéraliser. Dans les zones d'apport : espaces cultivés, on apporte de la biomasse transformée en matière organique sous forme de déjection, fumier, compost... Tout apport de biomasse correspond à un enrichissement en nutriments des sols, d'où le rôle important joué par la biomasse dans la gestion de la fertilité.

Cette notion d'intégration implique aussi une gestion intégrée des espaces agricoles. Elle montre une différenciation et une complémentarité spatiales de l'utilisation des sols. Les apports massifs d'engrais sur les cultures de riz et les cultures maraîchères de saison et de contre-saison traduisent l'intensification agricole dans les terrasses et rizières. Les produits agricoles dans ces unités : paddy, tomate, haricot, choux, pomme de terre, courgettes,... sont faibles et n'arrivent pas à subvenir aux besoins alimentaire et financier des exploitants. Ce qui les conduit à l'aménagement extensif des *tanety* pour la pratique des monocultures pluviales extensives de manioc, de patate douce et du maïs, d'arachide et de pois de terre. Ces cultures sont caractérisées par la faible productivité mais elles fournissent une alimentation complémentaire du riz pendant la période de soudure. La vente d'une partie de ces cultures améliore le revenu des exploitants. Mais l'extension de l'aménagement des *tanety* pose des problèmes.

Contraintes perceptibles sur les milieux écologique, social et économique

Sur le milieu naturel, les méfaits de la gestion paysanne de la fertilité des sols sont plus importants. Ils se traduisent par la dégradation alarmante des ressources naturelles : développement des mauvaises herbes appelées localement *tangongonalika* ou *Cyanthula uncinutala* (Andriambelomanga, 2007a) et disparition progressive de la couverture des sols. La dégradation des ressources végétales entraîne naturellement l'importance de l'érosion des sols. L'érosion aboutit à la perte de fertilité chimique des sols cultivés (tableau 2).

Tableau 2 : Erosion chimique des sols sur une parcelle cultivée (Ratsivalaka et al. 2007)

Echantillon du sol prélevé sur la parcelle d'expérimentation	pH	MO	P assim	N	C	Ca	Mg	K
		%	ppm	%	%	még/100g		
Sol à l'état initial (avant la saison de pluie)	5,44	1,13	0,060	5,5	0,89	1,76	0,100	0,015
Sol en place (pendant la saison de pluie)	4,81	1,27	0,076	5,7	1,00	0,99	0,106	0,066
Sol érodé (pendant la saison de pluie)	5,30	1,16	0,060	5,4	0,91	2,60	0,125	0,046

Le décapage du sol entraîne une perte des éléments fertiles dans le sol. Eléments fins et fumier sont ainsi emportés par le ruissellement qui s'y produit. L'érosion aboutit à un appauvrissement des sols en place et l'exportation des éléments nutritifs avec les sédiments (Andriambelomanga, 2007a). D'après ce tableau, on constate une acidification des sols, une perte en bases échangeable de 0,713 még pour 100 g de sol (Ratsivalaka et al, 2007).

Cette perte d'éléments fertiles du sol entraîne la diminution considérable de la production agricole. La baisse du revenu paysan va de pair avec ce déclin de la production. La pauvreté s'accroît considérablement. Or, les paysans pauvres ne peuvent pas améliorer les terres pauvres. Les paysans sont donc pris dans un cycle irréversible de dégradation du milieu. La dégradation du milieu physique cause la détérioration de l'économie paysanne. Un cercle vicieux de la dégradation des milieux naturel, social et économique s'enclenche alors. Pour lever ces problèmes et pour passer de la gestion traditionnelle destructrice du milieu vers une gestion conservatoire de la fertilité des sols, il importe de proposer des solutions d'amélioration.

Les techniques d'amélioration de la fertilité des sols

Les principes généraux qu'il faudrait considérer comme éléments de base pour améliorer la fertilité des sols des flancs cultivés des collines dans le bassin versant de Maniandro sont :

- *L'augmentation de la couverture des sols cultivés*

Deux méthodes testées localement par Ratsivalaka et al. (2007) peuvent être appliquées dans le bassin versant de Maniandro : d'une part, la couverture vivante des sols par la culture de *Stylosanthes gracillis* intercalée avec les cultures et d'autre part, la couverture morte des sols par le paillage ou *mulching* à base de matières végétales mortes ou *bozaka*.



Photo n° 5 : Culture de manioc sous couverture végétale morte

Cette technique permet la réduction de l'érosion des sols, l'augmentation de l'infiltration des eaux de pluie, la réduction de la perte d'humidité par évaporation et l'augmentation de l'humidité disponible, l'augmentation de la teneur en matière organique de la couche superficielle. L'augmentation de la teneur en matière organique du sol améliore la résistance des agrégats à l'érosion (Terre-Tany, 1995). Les techniques de culture sous couverture végétale vivante ou morte permettent de lutter contre l'érosion des sols cultivés. Le tableau 3 illustre l'efficacité de ces techniques de lutte antiérosive (LAE)

Tableau 3 : Rôles importants de la végétation dans la LAE (Ratsivalaka et al. 2007)

Pertes en terre (tonnes / hectare)				
Parcelle				
Culture de manioc sans dispositif anti-érosif	Sous - couverture végétale vivante (<i>stylosanthes gracilis</i>)	Sous couverture végétale morte (<i>paillage</i>)	Sous jachère naturelle de <i>Cynodon dactylon</i>	Sous graminée à <i>Aristida rufescens</i>
26,8	10	7	3,5	0,65

- *L'amélioration de la fertilité chimique et la productivité des sols*

Les mécanismes pour augmenter la fertilité chimique et la productivité des sols sont : accroître le niveau de matière organique dans les sols ferrallitiques à faible fertilité, au moyen d'application massive d'engrais organique surtout du fumier de parc. Ce dernier apporte de l'azote (N) et des fertilisants majeurs : K, Ca, P, Mg donc il permet une bonne production. Mais il ne corrige pas totalement l'acidité du sol. D'où il faut apporter aux sols des amendements à base de la dolomie. L'amendement dolomitique agit de façon spectaculaire dans l'augmentation du pH des sols ferrallitiques acides (Ratsivalaka et al, 2007). On ne peut pas espérer un bon rendement sans l'apport de la dolomie, source de Ca et Mg.

Tableau 4 : Rendement de haricot en grains obtenu à partir de l'essai de fertilisation minérale et organique avec de la dolomie, de fumier de parc et des engrais minéraux (Ratsivalaka et al. 2007)

Traitement	Rendement (g/2m ²)	Rendement (t/ha)
T1 (Témoin)	20	0,1
T2 (Dolomie : 1,5t/ha)	55	0,275
T3 (Dolomie : 1,5t/ha +Potasse : 80kg/ha)	70	0,350
T4 (Dolomie : 1, 5t/ha +Potasse : 80kg/ha + TSP : 80kg/ha)	80	0,400
T5 (Dolomie : 1,5t/ha +Potasse : 80kg/ha + Fumier : 15t/ha)	120	0,600
T6 (Dolomie : 1,5t/ha + Fumier : 15t/ha)	185	0,925

Les résultats obtenus ont fait ressortir que l'association Dolomie + Fumier (T5 et T6) donne les meilleurs rendements.

Tableau 5 : Rendement de haricot en grains en g/10m² et en t/ha avec de la fertilisation organique avec de la dolomie, de fumier, de guano et de bananier haché (Ratsivalaka et al. 2007)

Traitement	Rendement (g/2m ²)	Rendement (t/ha)
T1 (Témoin)	0	0
T2 (Fumier : 15t/ha)	165	0,165
T3 (Dolomie : 1,5t/ha+Fumier :15t/ha)	285	0,285
T4 (Dolomie : 1, 5t/ha+Fumier:15t/ha+Guano :500kg/ha)	260	0,260
T5 (Dolomie : 1,5t/ha+Bananier:10t/ha+Guano : 500kg/ha)	136	0,137

Les phosphates naturels : bananier, guano + dolomie apportent des éléments fertilisants naturels : N, P, K, Ca et Mg...L'usage de la dolomie et du fumier permet donc d'améliorer la fertilité et d'accroître le rendement. Le traitement Dolomie + Guano + Bananier (T5) présente aussi un rendement moyen.

Ces techniques d'amélioration de la fertilité et du rendement sont efficaces. Elles présentent aussi des avantages en terme de coût. Ces éléments fertilisants sont disponibles localement et ils sont à la portée de tous les paysans. Mais l'apport massif de fumier organique reste indispensable. Cet apport n'est pas possible dans le contexte écologique et économique actuel : la litière pour produire du fumier se raréfie, peu nombreux sont ceux qui possèdent des bovins : le prix des engrais n'est pas à la portée des paysans. Il est donc judicieux de proposer des solutions relatives à l'amélioration des conditions de vie des ménages ruraux.

- *Les améliorations socio - organisationnelles*

L'amélioration de la gestion paysanne de la fertilité des sols doit tenir compte des conditions socio-économiques et organisationnelles locales. Pour cela, il faut intensifier, coordonner et réunir les efforts pour une action concertée qui vise l'encadrement des paysans par :

- Le renforcement des capacités des paysans et la vulgarisation agricole notamment en matière de gestion durable des sols et des techniques culturales intensives sur *tanety* : semi-direct, production de compost...
- La mise en place des institutions de micro-finance (IMF) et des lignes de crédits matériels et des banques de semences et d'intrants agricoles
- L'amélioration des infrastructures rurales : ouvrages hydro-agricoles, centre de formation et d'appui des paysans....

CONCLUSION ET DISCUSSION

Les pratiques paysannes de gestion de la fertilité des sols ne permettent que l'assurance des besoins quotidiens des paysans. Elles ne répondent ni aux exigences de la pérennisation des activités culturales, ni aux conditions requises par ce qu'on entend par gestion durable et rationnelle des sols. Cependant, certaines pratiques paysannes sont prometteuses en terme de développement des activités paysannes.

Intégration de la gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols, et interdépendance de l'aménagement des *tanety*, des terrasses et des rizières sont les techniques paysannes prometteuses pour le cas de Maniandro. C'est là que les développeurs doivent intervenir en apportant des améliorations. La mise en œuvre des actions de gestion des sols doit tenir compte de ces stratégies paysannes rationnelles.

La préoccupation majeure des paysans reste l'assurance de leur besoin alimentaire journalier sans tenir compte de leurs besoins futurs. L'amélioration de la fertilité des sols constitue la seule garantie de la sécurité alimentaire de la population rurale à Madagascar. Selon le principe socio-agronomique « *nourris ta terre, elle te nourrira* », les paysans doivent pouvoir nourrir leurs terres afin de pouvoir se nourrir eux-mêmes. Mais la situation est ici très différente. Les paysans pauvres n'arrivent pas à nourrir les terres pauvres. D'où, il faut l'appui des acteurs extérieurs. L'intervention extérieure devrait s'orienter sur des actions ponctuelles qui touchent le problème majeur des paysans : érosion et perte de fertilité des sols. Pour notre projet, les actions mises en œuvre sont :

- étudier les stratégies paysannes existantes, leurs contraintes et leurs atouts,
- mener des essais agronomiques avec la participation des paysans en vue de dégager des solutions d'amélioration. Dans ce cas, il est préférable de travailler étroitement avec les paysans locaux en vue d'identifier leurs attentes et de pérenniser les stratégies mises en œuvre,
- apprendre aux paysans à utiliser de l'engrais organique naturel disponible localement à travers l'expérimentation réalisée en parcelles expérimentales, et en même temps initier les paysans aux techniques culturales modernes, à moindre coût et à la portée de tous. Cela facilite l'appropriation paysanne des techniques proposées.

Les expérimentations effectuées nous permettent d'identifier les meilleures solutions de LAE, entre autres :

- l'augmentation de la couverture végétale des sols : paille, *Stylosanthes gracilis*,...qui permettent de lutter contre l'érosion des parcelles cultivées,
- l'amélioration de la fertilité chimique et de la productivité des sols par des traitements organiques à base de fumier, de dolomie et des engrais naturels tels que guano et bananiers hachés. Cela donne aussi de meilleurs rendements pour le cas du haricot.

Pourtant, dans le contexte socio-économique rural à Madagascar où la pauvreté règne, il est aussi nécessaire de mettre à la disposition des paysans les moyens leur permettant d'adopter les différentes techniques proposées : crédit agricole, matériel agricole, semence et engrais...Mais les projets de recherche n'ont pas les moyens de mettre en place des centres de crédit, des banques de semence et des centres de location de matériels agricoles. Dans ce cas, l'appui étatique par l'intermédiaire des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement est crucial. Ce qui n'est pas encore le cas pour le bassin versant de Maniandro.

Par ailleurs, les actions mises en œuvre par les projets de recherche restent souvent limitées dans un site expérimental. Or, les zones touchées par la dégradation des sols à Madagascar sont de vastes étendues. Elles s'éparpillent à travers la grande île et en particulier sur les Hautes Terres. Il faut préciser qu'une masse de population paysanne pauvre habite ces zones. Pour vaincre la pauvreté paysanne et conserver parallèlement

le potentiel de production dans ces zones, l'intervention extérieure est nécessaire. La réussite de la mutation de la gestion traditionnelle vers la gestion moderne des sols dans ces zones dégradées requiert en effet la participation active de tous les acteurs du développement dans le cadre du partenariat public privé. Les stratégies d'action à mettre en oeuvre devraient se concevoir dans un cadre d'une concertation entre les acteurs exogènes : Etat, ONG, Projets, Centres des recherches, Bailleurs de fonds et les acteurs endogènes : paysans.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) ANDRIAMBELOMANGA E., 2007a : "La gestion paysanne de la fertilité des sols dans le bassin versant de Maniandro : l'exemple d'Ambohitsimeloka (Hautes Terres Centrales de Madagascar)". Mémoire de maîtrise de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université d'Antananarivo, 131p.
- 2) ANDRIAMBELOMANGA E., 2007b : " La gestion de l'eau et de la fertilité des sols dans le terroir d'Ambohitsimeloka (sous-bassin de Torotosy, bassin versant de Maniandro/Mahitsy). Rapport de mission, Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université d'Antananarivo, 100p
- 3) RAKOTO RAMIARANTSOA H., 1995 : "Chair de la terre, œil de l'eau : paysanneries et recompositions de campagnes en Imerina (Madagascar)". Collection A travers champs, ORSTOM, Paris, 370 p.
- 4) RATSIVALAKA S., ANDRIAMAMPINANINA N., MIETTON M., PUECH C., ANDRIAMIHAMINA M., RANDRIAMBOAVONJY J.C., 2007 : "Restauration et gestion de la fertilité des sols sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar : cas du bassin versant de Maniandro, nord-ouest d'Antananarivo, Madagascar". Réseau des chercheurs EGCES de l'AUF. Rapport Scientifique de mi-parcours, 49p. Rapport final, 41p.
- 5) ROLLIN D., 1994 : "Des rizières aux paysages: éléments pour une gestion de la fertilité dans les exploitations agricoles du Vakinankaratra et du Betsileo Nord (Madagascar)". Thèse nouveau régime de Géographie, Département de Géographie, Université de Paris X Nanterre, 323p.
- 6) TERRE - TANY., 1995 : Terroirs et Ressources, spécial Hautes Terres Centrales, vol 2. GDE, FOFIFA, 74p.
- 7) RATSIVALAKA S., SERPENTIE G., DE NONI G., ROOSE E., 2006. Erosion et Gestion Conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols. Actes des Journées Scientifiques du réseau « Erosion et GCES », Editions AUF et GB, Paris, 310p.

Dynamique de l'érosion sous différentes utilisations du sol au niveau d'un versant en zone méditerranéenne subhumide : influence des cultures, des aménagements de GCES et des couvertures forestières en Algérie.

Morsli B.¹, Seladji A.¹, Kaci O.²

¹ INRF, BP. 88 Mansourah Tlemcen Algérie. Email : morbinrf@yahoo.fr, ² Laboratoire de CES et des écosystèmes forestiers, Université de Tlemcen Algérie.

Résumé

Sur les versants des zones méditerranéennes subhumides du Nord ouest algérien, les diverses formes d'érosion sont très actives : le décapage des terres entraîne une diminution de la productivité tout en entraînant un déséquilibre entre eau -sol- végétation.

L'objectif de cette recherche est d'étudier la dynamique de l'érosion, dans cette zone agro-sylvo-pastorale, sous différentes utilisations de sol et d'examiner les relations entre les facteurs de cette dynamique et l'impact des aménagements, en particulier les actions de GCES par les paysans. Pour atteindre ces objectifs, on a étudié un transect au niveau d'un versant de 4 km de long. Le long de ce transect, on rencontre plusieurs utilisations et aménagements sur un même type de sol. L'approche est basée sur la comparaison de certains critères morphologiques et des indicateurs analytiques tels que pierrosité, infiltrabilité (mesurée au simulation de pluies), matière organique, épaisseur du sol (évacuation et accumulation des matériaux).

Les résultats montrent qu'à l'échelle du versant, la dynamique est sous l'influence de la pente et surtout de l'utilisation du sol. A la variation d'occupation des sols (formations arbustives, buissonnantes et des zones cultivées, arboriculture et céréales associées aux aménagements de GCES) correspond une variation de la dynamique érosive, que l'on peut suivre grâce aux indicateurs. En forte pente et sous couvert végétal faible, les sols sont érodés par la pluie et ceci est bien démontré par la charge caillouteuse et le décapage de l'horizon A. Par contre, Les sols très couverts sont mieux conservés malgré la présence de fortes pentes. Cette stabilité trouve son explication dans la densité du couvert végétal (reboisement dense et formation buissonnante) la litière et la richesse en matières organiques du sol, qui rendent la structure du sol plus stable et qui facilite l'infiltration des pluies. Les aménagements (murets de 1 à 2 m) réalisés sur les zones cultivées par les riverains apparaissent comme une solution ingénieuse. Ils permettent de cultiver des surfaces très pentues tout en limitant au minimum les risques d'érosion. Ces techniques, parallèle aux courbes de niveau, ont bien montré leur efficacité dans la réduction de l'érosion et le piégeage des sédiments. L'application de la gestion durable de l'eau et des sols (GCES) dans certaines exploitations en amont du versant (Intensification, cultures en étages avec arboriculture (cerisier) très valorisante et très économique, fumier, emploi de techniques antiérosives) a bien montré son efficacité dans la conservation du sol et dans l'amélioration des revenus.

MOTS CLES : Algérie, Montagne méditerranéenne subhumide, Erosion, Utilisations des sols, Transect, GCES, Revenus.

Abstract

The study of erosion manifestations along a landscape transect with the same red soils showed the importance of slope, land use and stone walls on the contour line. The topsoil fertility & depth are in relation with the vegetation cover and the erosion intensity. The application of intensive agricultural techniques (land husbandry, manure, crops under fruit trees plantations) had a great effect on erosion reduction and the net income improvement.

KEYWORDS : Algeria, subhumid Mediterranean mountains, Erosion, land use, transect, slope, vegetation cover, stone bunds

1. Problématique

Dans les montagnes méditerranéennes subhumides du Nord ouest de l'Algérie, la dynamique de l'érosion hydrique est très active. La perte partielle ou totale du sol entraîne une diminution de la productivité. A la suite d'une très longue pression anthropique (surpâturage, défrichement, incendies) sur le couvert végétal, les sols se dégradent profondément. Les processus érosifs se propagent plus vite là où le couvert végétal a été détruit et peuvent causer des dégâts considérables en aval.

La dynamique érosive des versants s'analyse en terme de rapport de forces (Derruau, 1999), entre des forces de traction et des forces de résistance qui sont liés à des facteurs physiques et humains. L'Homme dispose d'une forte capacité de destruction, mais aussi de conservation et d'amélioration des ressources naturelles.

A l'échelle d'un versant, homogène sur le plan lithologie où plusieurs utilisations de sol se succèdent, nous avons étudié la dynamique de l'érosion du sol et analysé la part de chaque facteur dans cette dynamique. D'autre part, une évaluation de l'impact des actions de GCES paysannes pratiquées a été réalisée.

2. Matériel et méthodes

Pour atteindre ces objectifs, une démarche simple a été utilisée : l'étude d'un transect au niveau d'un versant de 4 km le long duquel plusieurs utilisations et aménagements se succèdent sur un même type de sol. L'approche est basée sur le suivi de certains critères morphologiques et analytiques tels que pierrosité, infiltrabilité (simulations de pluies), matière organique, épaisseur du sol (évacuation et accumulation des matériaux).

La zone d'étude, qui se situe au niveau de Tlemcen - Algérie (fig.1), se présente comme un ensemble qu'il est possible de percevoir globalement comme un « système agro-sylvo-pastoral ». Ce système, en zone subhumide, se traduit par un écosystème fragile et vulnérable où les impacts sont importants sur la végétation et par conséquent sur le sol. La toposéquence, est occupée essentiellement de sols rouges reposant sur des grès. Ce sont des reliques d'anciens sols rouges fersiallitiques. Sur cette toposéquence, se succèdent différentes occupations de sol (formations arbustives, formations buissonnantes et des zones cultivées (arboriculture et céréales)). Les formations forestières qui couvraient toute la zone régressent d'une année à l'autre. Les perturbations anthropiques sont pour une très large part, responsables de l'état actuel de la végétation (Quézel et Barbéro, 1990).

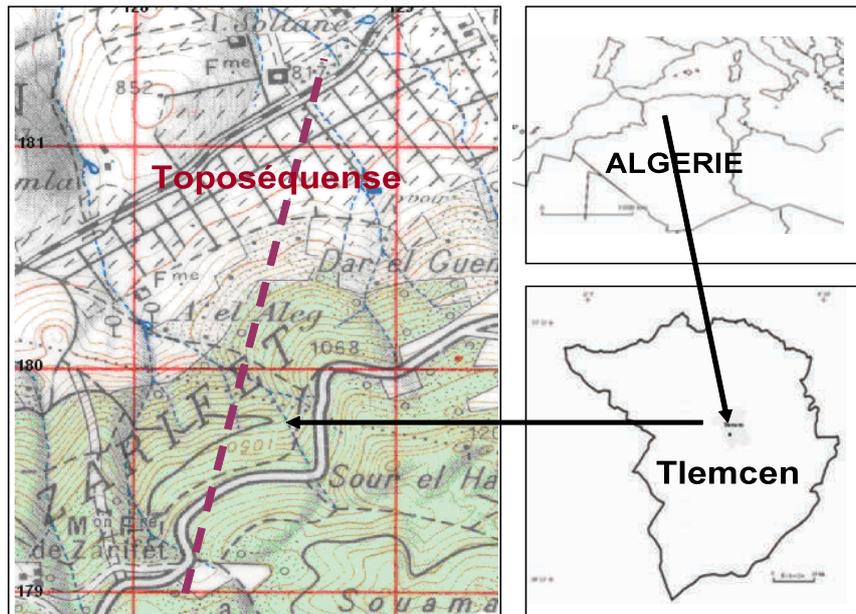


Figure 1. Carte de situation en Algérie.

3. Résultats

Les résultats montrent que le sol rouge qui couvrait tout le versant, change d'un faciès à un autre sous l'influence de la pente et de l'utilisation du sol.

Le long du transect étudié, différentes occupations de sol se succèdent. A cette variation d'occupation du sol, correspond également une variation pédologique. Parmi les caractères morphologiques et analytiques différenciant les sols de cette séquence, on peut citer: la couleur, la texture, la teneur en matière organique, l'épaisseur, la différenciation des horizons et la charge caillouteuse. Ces variations sont présentées sous forme synthétique dans le tableau 1.

1. Le transect est divisé en trois sites caractéristiques.

Tableau 1. Caractéristiques des sols de différents sites de la toposéquence

Site	Occupation	Pente %	Etat de surface	M.O. %	Prof. (cm)	Text. %	CaCo3 %	Charg. Cailloux %	Infilt. Pi (mm)	Erosion
I	Matorral	>20	Litière	2,5 (sol)	60	LAS à A	2	1 à 2	10	Traces
	Agriculture intense+ GCES	3 à 10	Meuble poreux	1 à 2	> 80	LSA	2	-	15	--
II	Steppe à Diss	>25	Fermé et tassé	1 à 1,5	40	SL	2	30	3	décapage fort
	Forêt dense	6 à 20	Litière	4,5 (sol)	>50	SL	-	-	25	--
III	Agriculture + Aménagements	3 à 6	Meuble poreux	1,3	> 80	LS	3	2	11	colluvionnement
	Matorral clairsemé	>20	Fermé Tassé	2,2	30	LS	2,5	15	5	décapage rigoles
	Arboriculture (Oliviers)	10	Fermé	1,5	60	LS	1,5	5	10	décapage griffes
	Céréales	6	Meuble	1,5	>80	LS	3	2	15	Griffes

Pi : Pluie d'imbibition, (pluie simulée de 50 mm/h pendant 30mn sur sol sec).

Partie sommitale (site 1)

La partie sommitale est une zone forestière relique (fig. 2) ; le pâturage intensif et les incendies volontaires pratiqués depuis de longues années ont abouti à la disparition de la chênaie primitive et son remplacement par une formation arbustive dense dite maquis. Malgré la forte pente (fig. 4), le sol rouge a pu être conservé par la couverture végétale mais il n'est pas hors d'atteinte de l'érosion. Dans certains îlots dénudés, très localisés, le sol est décapé avec disparition de l'horizon superficiel (sol rouge tronqué).

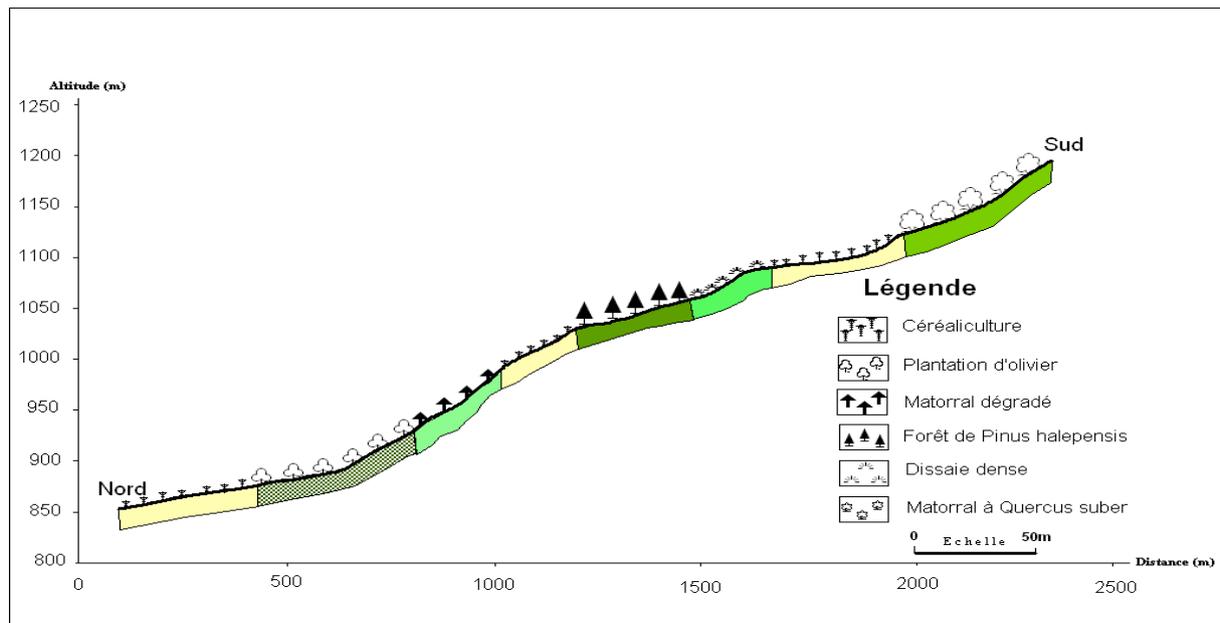


Figure 2 . Les différentes occupations de sol qui se succèdent au niveau de la toposéquence :

La partie aval de cette partie sommitale, à faible pente (0 – 6 %), a permis la sédimentation des éléments enlevés de la partie sommitale, principalement de l'horizon de surface, riche en matières organiques. Le colluvionnement peut dépasser un mètre d'épaisseur dans les replats. Peut être la faible pente et la richesse de ces sols qui a fait que cette zone, située en pleine forêt, a été défrichée et utilisée d'une façon intensive (cultures associées avec arboriculture très rentable, irrigation, aménagements, savoir faire...) sans être dégradée. Les revenus sont estimés à plus de cinq fois supérieurs à ceux obtenus en zone aval, utilisée d'une manière extensive. L'homme qui contribue souvent à la dégradation des sols peut quelquefois jouer un rôle décisif dans la réduction des processus érosifs.

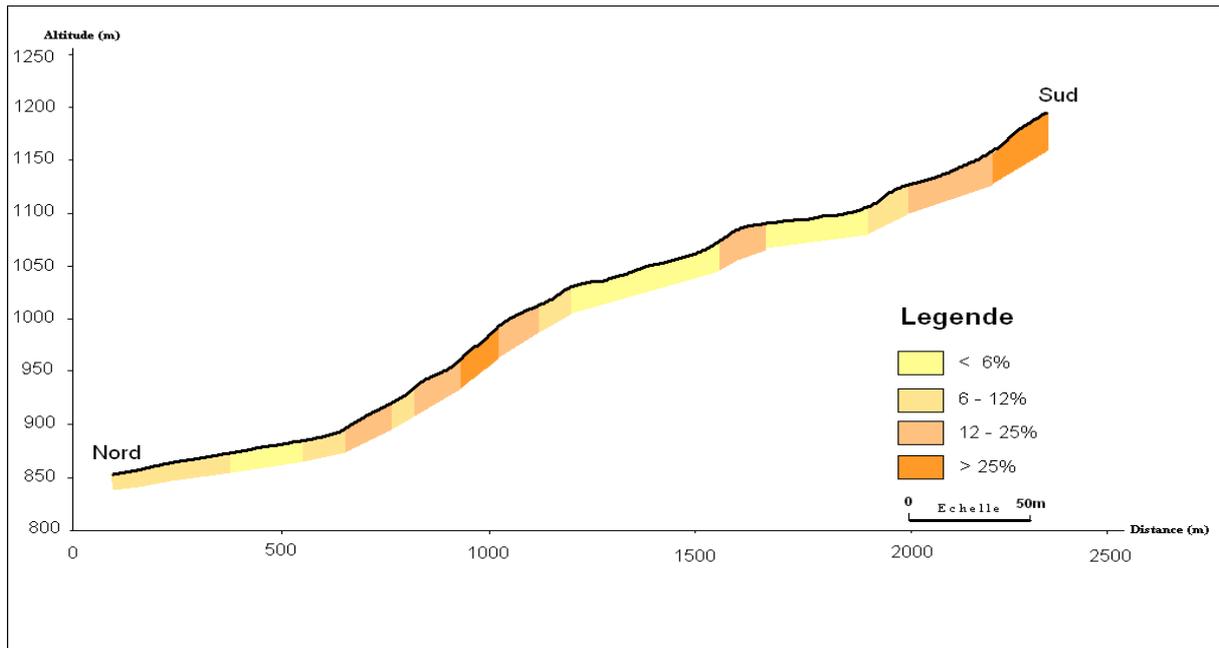


Figure 3. Répartition des classes de pente au niveau de la toposéquence

Le domaine médian de la toposéquence (site 2)

Cette zone présente deux faciès écologiques nettement distincts

1- **Faciès de dégradation** : versant très pentu, occupé par une steppe à diss (fig. 2) qui témoigne de la disparition de la chênaie primitive et son remplacement par une association secondaire très dégradée. Cette dégradation est le résultat des pratiques très anciennes qui se sont exercées aux dépens de la forêt tout au long de l'histoire.

Suite à cette dégradation du couvert végétal, le sol a subi à son tour une modification. Situé sur pente forte et occupé par une steppe à diss clairsemée (zone de parcours), le sol est très affecté par l'érosion en nappe. Il en résulte un décapage des horizons de surface, une charge caillouteuse importante de 15 à 50% (fig. 4), un tassement du sol et une diminution d'activité biologique. La troncature du sol est si importante que l'érosion a fini par provoquer l'affleurement de pavages de cailloux et de la roche mère (grès), gênant ainsi fortement l'infiltration des eaux et la régénération des végétaux surtout du couvert végétal primitif où le climat le permet encore.

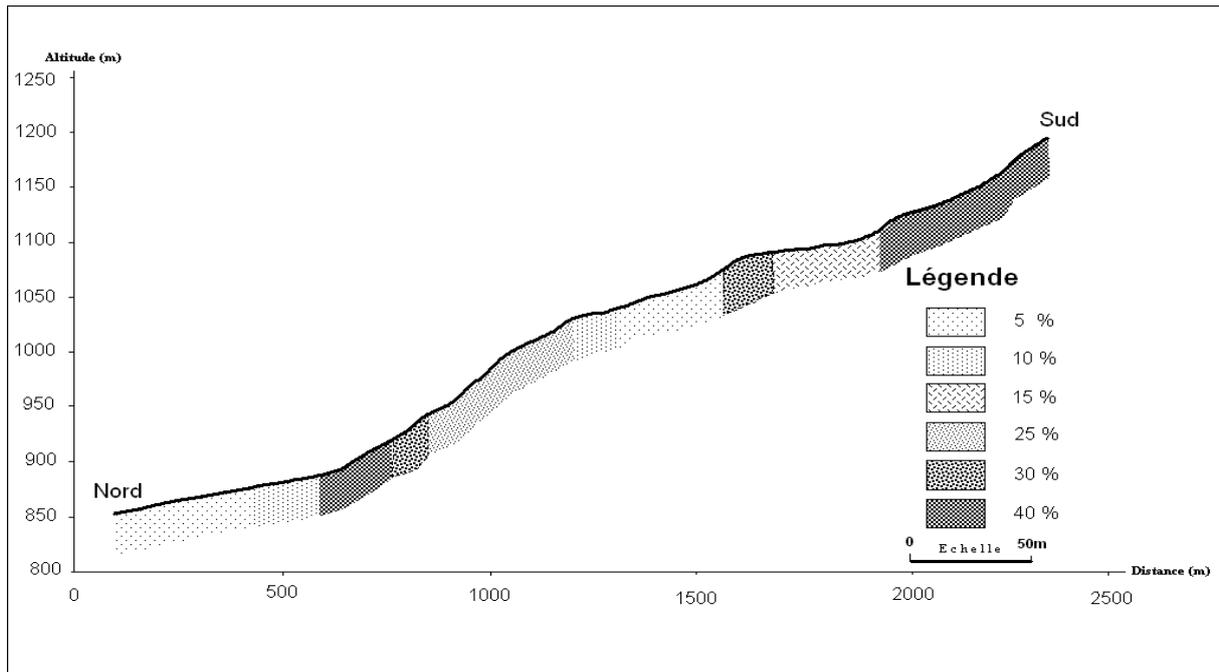


Figure 4. Charge caillouteuse au niveau de la toposéquence

2 – Faciès d'évolution : tout en aval de cette steppe à diss, sur le même faciès de dégradation, un reboisement dense (futaie de Pin d'Alep de 40 ans) a permis au sol de s'épaissir avec le temps par colluvionnement et surtout sous effet des matières organiques (le sol est recouvert par une litière épaisse >5cm) surtout en aval du reboisement où la pente est plus faible. La présence d'une futaie régulière et bien couvrante (taux de couverture >80%) a permis l'enrichissement du sol en humus. La porosité est plus favorable à la circulation des flux d'eau, l'infiltrabilité est plus élevée (tab. 1).

Partie aval de la toposéquence, occupée généralement par l'agriculture (site 3)

A l'aval du faciès d'évolution (futaie de Pin), les terres ont été aménagées par des ouvrages antiérosifs (murettes en pierres sèches), parallèle aux courbes de niveau, qui ont évolués en terrasses (fig. 5). L'analyse des profils situés entre les murettes montre que les sols sont très profonds (quelquefois l'épaisseur des colluvionnements dépasse les 2m). Ils sont constitués de dépôts récents (colluvions) qui se caractérisent par une texture hétérogène variable et une faible différenciation du profil, alors qu'à l'aval de la murette où le sol est érodé, l'affleurement de la roche mère témoigne encore de l'activité érosive. Avec ces aménagements, une nouvelle dynamique pédogénétique s'est déclenché et qui dépend des matériaux déposés.

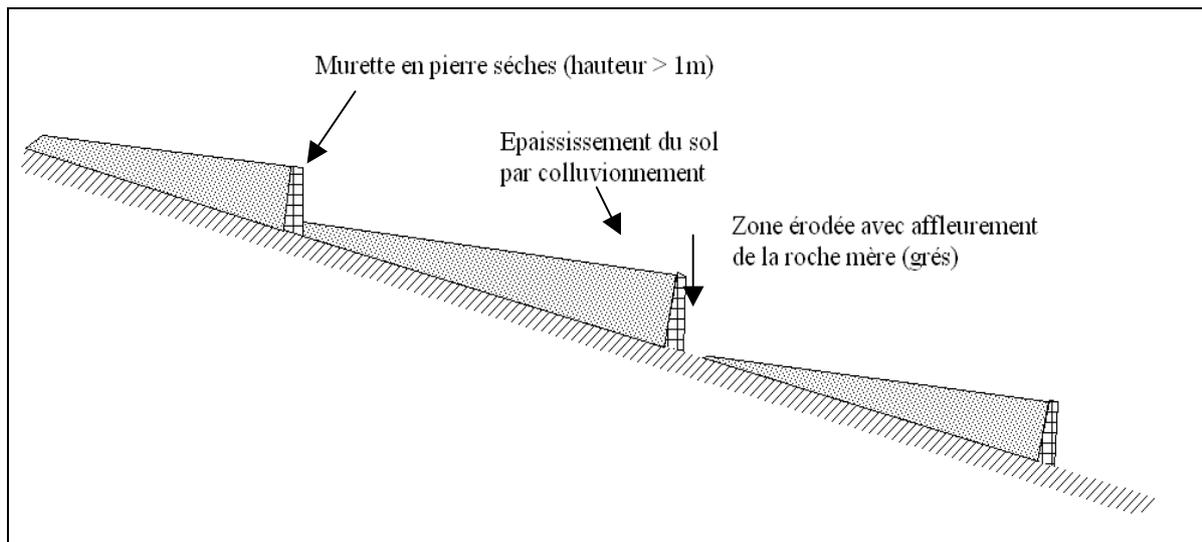


Figure 5. Aménagement en murettes, parallèles aux courbes de niveau, qui ont évolués en terrasses progressives à pente réduite, mais jamais nulle.

Le matorral situé en bas de ces terres aménagées est constitué d'une végétation bien couvrante mais la divagation très fréquente des animaux, a rendu le sol très tassé favorisant ainsi le ruissellement. Le déséquilibre entre le rythme de croissance biologique des pâturages et les besoins des animaux a fait que toute la végétation herbacée a été détruite et a créé une discontinuité dans le couvert permanent, rendant le sol découvert et moins perméable.

Tout en aval de la toposéquence des cultures se succèdent : arboriculture (oliviers) et céréales. Sur cette zone cultivée, les sols sont très remaniés par l'homme. Ces sols subissent actuellement une action de dégradation due à l'érosion hydrique. Sur cette partie, la qualité agrologique s'est détériorée suite à la mise en culture.

4. Discussion

En région de climat méditerranéen à saisons contrastées, comme celle de la zone montagneuse de Tlemcen, les sols peuvent se distribuer d'une manière régulière ou non au niveau des versants. Leur dynamique est fonction de plusieurs facteurs de la morphogenèse et de la pédogenèse (climat, végétation et relief). La végétation exerce une grande influence sur le sol. Les processus érosifs les plus intenses se propagent habituellement dans des zones où le couvert végétal a été détruit et peuvent causer des pertes en sol considérable (Morsli et Mazour, 2004). La topographie oriente le plus la pédogenèse en favorisant le développement du sol ou en favorisant la morphogenèse (érosion) et par conséquence la régression du sol.

Les horizons de surface des sols forestiers très couverts (P8 du site I et P5 du site II), sont non seulement les plus riches en matières organiques mais encore très poreux et moins durs. Le P7 du site I, sol cultivé intensivement et bien entretenu, a des caractères intermédiaires entre les sites forestiers et les autres sites. Les sols des sites cultivés d'aval et ceux des zones dégradées se différencient

nettement des sols forestiers : ils sont relativement pauvres. Le taux de matière organique varie en fonction de la richesse des strates végétales (Kadik, 1987).

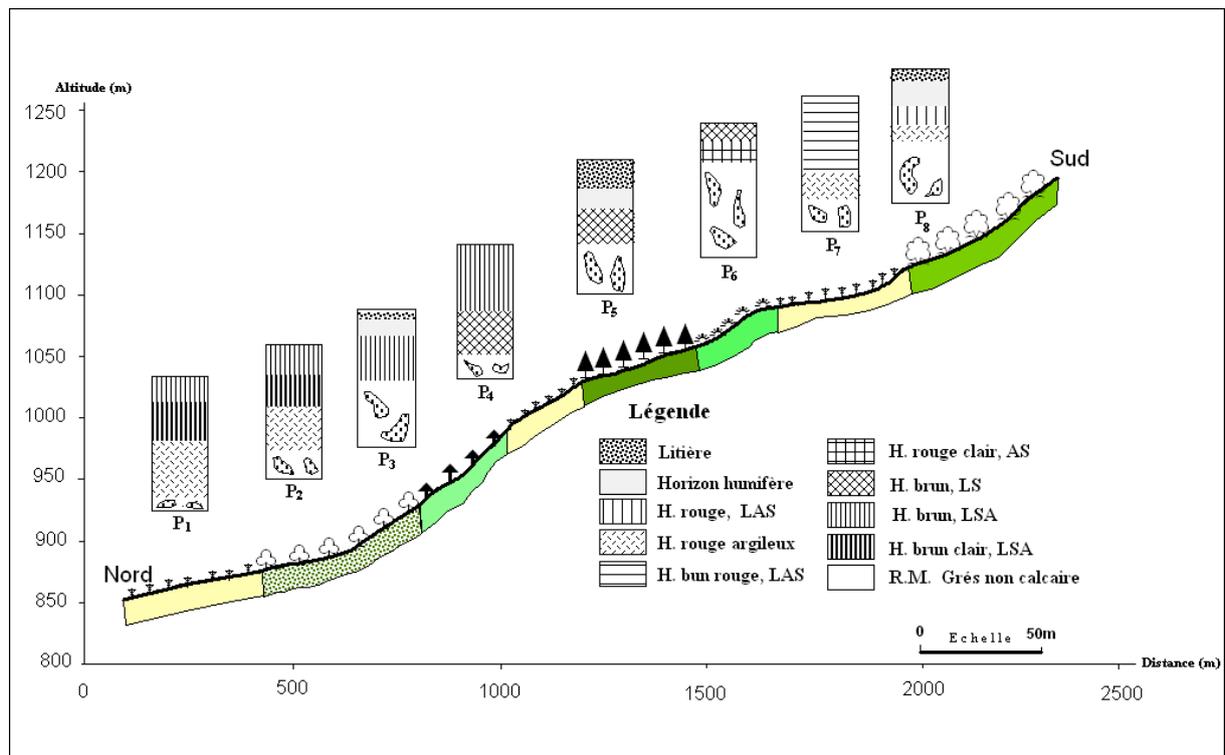


Figure 6. Le long de la toposéquence étudiée, à la variation d'occupation du sol correspond une variation pédologique.

Quant à la végétation, facteur important de la pédogenèse, elle permet de bien conserver le sol et favorise la pédogenèse. Sous couvert forestier dense, le sol est protégé par le feuillage des arbres et la litière. Il est stabilisé par l'enracinement des plantes. Mais suite à l'ouverture du milieu (éclaircissement), le sol se retrouve dénudé et fragilisé. Il est souvent admis que sur un versant partiellement végétalisé, les zones dénudées peuvent être soumises à l'érosion alors que les zones végétalisées sont protégées (Reid *et al.*, 1999).

Les sols très couverts (maquis amont et futaie de pin d'Alep) sont plus ou moins conservés malgré la présence de fortes pentes. Cette stabilité trouve son explication dans la densité du couvert végétal, la litière et la richesse des horizons de surface en matière organique qui rend la structure du sol plus stable et par conséquent plus résistante à l'érosion. Dans ces cas, la pédogenèse est favorisée surtout que la roche mère est facilement altérable.

Si la pédogenèse est favorisée par les substrats (grès altérables) et la végétation quand cette dernière est conservée, la topographie et surtout l'utilisation des sols dans la conjoncture actuelle entravent de plus en plus l'évolution pédogénétique et dans la plupart des cas c'est la morphogenèse qui l'emporte. Certains secteurs sont à tel point dégradés que la roche affleure à la surface. Dans un tel milieu, pauvre en capacité de stockage de l'eau, aucun ligneux ne peut se développer.

La topographie, dans une telle conjoncture, ne peut être que négative, même si elle peut jouer un rôle important dans la pédogenèse par l'orientation qu'elle donne au sol et aussi à la végétation. Dès que le sol est dénudé, la pente accélère le plus souvent le décapage des sols par suite de la forte déclivité. L'observation des profils complets et réguliers est rare. On note l'existence de zones d'appauvrissement superficiel au sommet de pente et une concentration en éléments dans les parties de faibles pentes. L'érosion accélérée se pose donc ici non seulement en perte de terre, mais encore en perte de fertilité et d'eau.

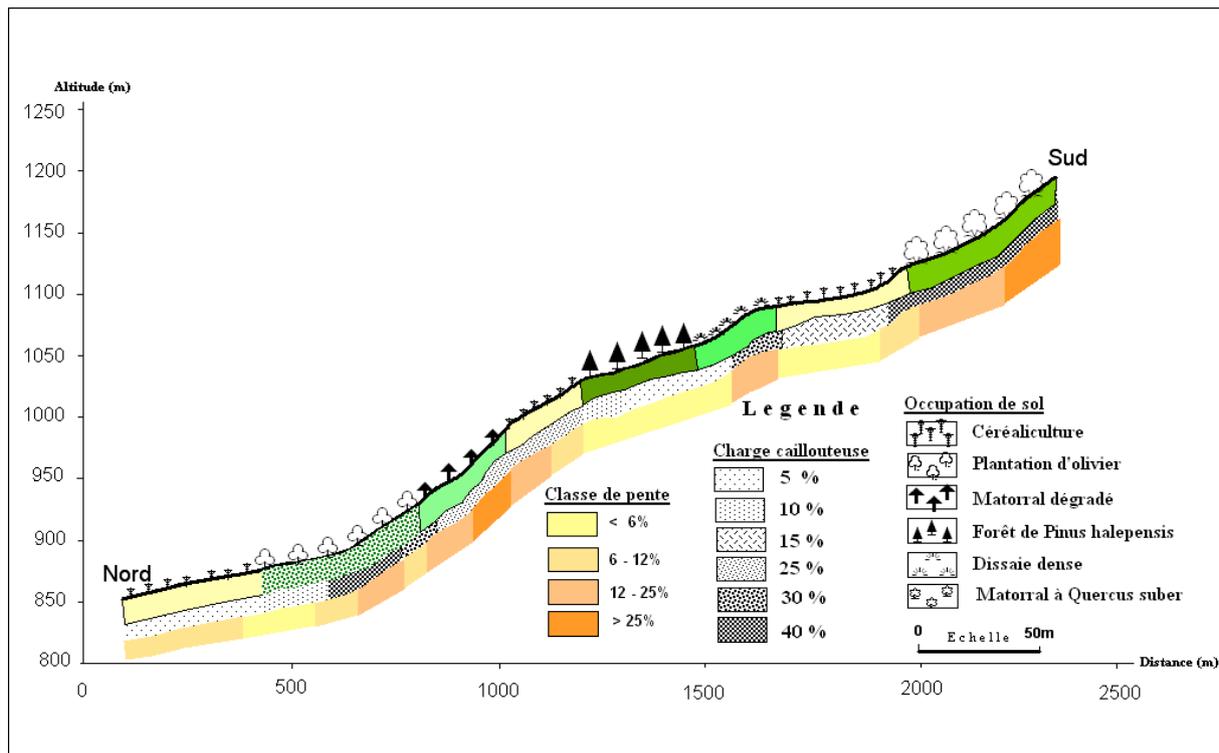


Figure 7. Les variations de la couverture pédologique s'ordonnent principalement selon la pente, la couverture végétale et l'utilisation du sol.

A l'échelle du versant, les variations de la couverture pédologique s'ordonnent principalement selon la pente. Les plus anciens sols occupent les positions topographiques les plus élevées (les anciens sols rouges). Puis viennent les sols bruns de bas de pente et des surfaces d'aplanissement. Enfin les sols colluviaux les plus jeunes se développent sur les accumulations récentes. Le relief apparaît comme l'un des facteurs essentiel de dynamique actuelle des sols.

L'homme joue aussi un rôle important dans cette dynamique. Par les défrichements, le surpâturage, les incendies, il a accentué la dégradation des terres tout en amplifiant la dynamique érosive, surtout dans la partie aval et dans la steppe à diss. Mais il peut aussi jouer un rôle décisif dans la réduction des processus érosifs, comme c'est le cas du site où il a développé un système intensif sur terrasses et une gestion conservatrice et très valorisante (cultures associées avec arboriculture très rentable (cerisier), irrigation rationnelle, aménagements). Les revenus sont estimés à plus de cinq fois ceux obtenus en zone aval, utilisée d'une

manière extensive. D'autre part, les aménagements mis en place ont bien montré leur efficacité dans le contrôle de l'érosion.

5. Conclusions

Cette étude a permis d'obtenir des données qualitatives relatives au fonctionnement et au comportement des sols des versants en zones subhumides. A l'échelle de la toposéquence, les variations du sol le long du versant sont dues à la dynamique érosive. Les résultats montrent que ce sont surtout les caractères du couvert végétal, de la pente (évacuation et accumulation), du mode d'utilisation et des aménagements qui conditionnent cette dynamique. A la variation d'occupation de sol (formations arbustives, buissonnantes et des zones cultivées, arboriculture et céréales associées aux aménagements de GCES) correspond également une variation de la dynamique érosive. Le suivi des différents critères met bien en évidence cette différence de dynamique.

En forte pente et sous couvert végétal faible, les sols sont décapés par l'érosion et ceci est bien démontré par la charge caillouteuse, l'épaisseur de l'horizon A et la dénudation de la roche (grés séqualien décalcifié). Par contre, Les sols très couverts sont mieux conservés malgré la présence de fortes pentes. Cette stabilité du sol trouve son explication dans la densité du couvert végétal juste au-dessus du sol et la richesse en matières organiques : celles-ci rendent la structure du sol plus stable de telle sorte que l'eau de pluie s'y infiltre et s'y stocke plus facilement.

Les aménagements (murets de 1 à 2 m) réalisés sur les zones cultivées par les riverains apparaissent comme une solution ingénieuse, ils permettent de cultiver des surfaces très pentues tout en limitant au minimum les risques d'érosion. Ces techniques ont bien montré leur efficacité dans la réduction du ruissellement et le piégeage des sédiments.

L'application de la GCES dans certaines exploitations (Intensification, cultures en étages avec arboriculture (cerisier) très valorisante, utilisation de fumier, emploi de techniques antiérosives) en amont du versant a bien montré son efficacité dans la conservation du sol au niveau des versants et dans l'amélioration des revenus des paysans.

Bibliographie

- Derruau M., 1999.** Les formes du relief terrestre. Notion de géomorphologie, 8ème édition, Armand Colin (Paris), 120p.
- Kadik B., 1987.** Contribution à l'étude du Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie : Ecologie, dendrométrie, morphologie. O.P.U. Ben Aknoun (Alger), 313 p.
- Morsli B., Mazour M., Meedjel N., Hamoudi A., Roose E., 2004.** Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du Nord ouest de l'Algérie. *Sécheresse* 15, 2 : 96-104.
- Morsli B., 1996.** Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne - Cas des monts de Beni-Chougrane . Thèse de Magister INA El Harrach Alger.
- Quezel P. et Barbéro M., 1990** – Les forêts méditerranéennes : problèmes posés par leurs significations historiques, écologiques et leur conservation. *Acta Botanica Malacitana* 15 : 145-178.
- Reid K.D., Wilcox B.P., Breshears D.D., MacDonald L., 1999.** Runoff and erosion in a Pinon-Juniper woodland: influence of vegetation patches. *Soil Science Society of America Journal*, 63 : 1869-1879.

Effets de la GCES sur la production agricole en moyenne montagne méditerranéenne algérienne

Mourad ARABI* et Eric ROOSE**

*UR Érosion, INRF BP 193, Ain Dheb 26001, Algérie. ; Courriel: almouraddz@yahoo.fr

** IRD, BP 64501, F 34394, Montpellier, France ; Courriel :eric.roose@ird.fr

Résumé

En Algérie du Nord, le développement agricole pose le problème de la conservation de l'eau et de la fertilité des sols. Après quatorze années de gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), les auteurs analysent les effets de la GCES sur le ruissellement, l'érosion, l'amélioration des systèmes de cultures, la productivité des terres et du travail dans des situations agro-écologiques diverses.

Dans quatorze sites expérimentaux de l'INRF (88 à 222 m²), situées en moyenne montagne méditerranéenne (10 à 45 % pentes entre 400 à 900 m d'altitude et recevant 300 à 650 mm de pluie), les améliorations apportées aux témoins régionaux de 1986 à 1995 (labours dressés grossiers, emploi de pesticides, graines sélectionnées, fertilisation équilibrée, jachère fourragère de légumineuses, cultures associées en rotation sous verger), ont réduit les risques d'érosion et de ruissellement au champ. Mais ce qui est encore plus important, c'est l'amélioration très significative des rendements des cultures et des revenus des agriculteurs. Les rendements augmentent en moyenne de six à dix fois. De plus, la paille, les feuilles des légumineuses et autres résidus de culture ont aussi augmenté significativement de telle sorte que la production animale et la disponibilité en fumier ou en résidus organiques peuvent, à terme, améliorer la fertilité du sol et sa résistance à l'érosion. Le revenu net à l'hectare est multiplié par trois à vingt selon le système de production choisi.

Sur les hauteurs de l'oued Chélif en zone semi aride steppique (pentes 10 à 20%, altitude 900 m), à 150 km au sud d'Alger, sur les champs des paysans (1 hectare) en combinant les haies vives d'*Atriplex* aux cordons empierrés, le fumier et diverses matières organiques indispensables à la croissance des cultures dans les rotations biennales blé-fèves, les essais entrepris entre 2000-2004 ont confirmé que ces changements sont rentables pour le paysan. Ces résultats démontrent qu'il est possible à la fois d'intensifier l'agriculture de montagne et de réduire les risques de dégradation de l'environnement rural. Dans ces conditions, il est possible d'intéresser les paysans à modifier leur système de culture et à améliorer leurs méthodes culturales pour mieux conserver l'eau et la fertilité des sols.

Mots clés: Algérie - Montagne méditerranéenne - Semi-aride - Stratégie GCES - Amélioration des techniques culturales - Érosion- Ruissellement - Rendement - Revenu net.

Abstract

In northern Algeria, agricultural development poses the problem of water conservation and soil fertility. After fourteen years of sustainable management of water, biomass and soil fertility (GCES in french), the authors analyze the effects of GCES on runoff, erosion, improvement of crop systems, productivity land and labor in various agro-ecological situations.

In fourteen of the experimental plots (88 to 222 m²), located in mountainous Mediterranean regions (10 to 45 % slopes between 400-900 m of altitude and receiving 300 to 650 mm of rainfalls), various improvements (coarse tillage, fertilization, high quality seeds, pesticides, forage legumes fallow, cereals/legumes rotation, associated cultures with orchard) have been made to regional control from 1986 to 1995. They reduced the risk of erosion and runoff in the field. But what is even more important is the very significant improvement in crop systems and incomes of farmers. The yields increased on average from six to ten times. Moreover, the straw, leaves of leguminous and other crop residues also increase significantly so that the animal production and the available manure or organic residues can, in the future, to improve soil fertility and resistance to erosion. The net income per ha is increased by three to twenty according to the selected production system.

On the high valleys of Chelif river in semi-arid area (slopes of 10 to 20 %, altitude of 900 m), 150 km to Algiers, from 2000-2004, tests combining hedge *Atriplex* on stone lines, manure and organic matter in wheat/broad beans rotation, have confirmed that these changes are profitable for the farmer. These results show that it is possible both to increase mountain farming intensity and reduce the risk of degradation of the rural environment. In these conditions it is possible to interest the peasants to modify their crop system and improve their farming methods to better conserve water and soil fertility.

Keywords

Algeria - Mountain Mediterranean - Semi-arid - Strategy GCES- Improvement in cultivation techniques - Erosion-Runoff - Yields - Net income.

Introduction

Depuis son indépendance en 1962, la sécurité alimentaire représente un enjeu sacré pour l'Algérie qui compte une population en force croissance et des ressources en sol limitées et dégradées par l'érosion hydrique. En dépit d'un vaste territoire, le ratio SAU par habitant, de l'ordre 0,14 en 2008 est le plus faible des pays méditerranéens. Les zones de montagnes, de steppes et de parcours restent les plus touchées par le phénomène de dégradation des sols. La déforestation, le surpâturage, la mise en culture des terres sur fortes pentes sont parmi les facteurs qui ont contribué le plus à cette situation. En conséquence, les rendements sont faibles et souvent inférieurs à 4 quintaux/ha sur des sols pauvres en nutriments. Pour faire face à ce problème alimentaire, le pays consacre depuis la période 1999-2008, en moyenne, 5 milliards de dollars annuellement pour approvisionner la population en denrées alimentaires et agricoles de base. Cela représente 30 % des importations totales et fait du pays l'un des plus gros importateurs mondiaux de produits agricoles (CNIS, 2009). Le maintien des populations sur place est devenu un enjeu important pour les pouvoirs publics qui œuvrent depuis quelques années au retour des agriculteurs dans les zones rurales. La situation de l'approvisionnement en eau domestique, industrielle et agricole est encore plus critique. Les études rétrospectives montrent que le pays est menacé à court terme par un grave déficit hydrique du fait de l'envasement accéléré des barrages (REMINI et al., 2005). La recherche de nouveaux modes de gestion agricole qui permettent d'accroître durablement la productivité des terres sans dégrader l'environnement apparaît incontestablement comme l'une des principales priorités pour trouver les solutions à ce problème complexe. Il s'agit de systèmes de production qui auraient pour effet d'accroître le revenu des ménages, d'atténuer les risques érosifs et qui reposeraient principalement sur une végétation pérenne, l'intégration de l'élevage et des cultures associées dans le système d'exploitation sur de faibles superficies.

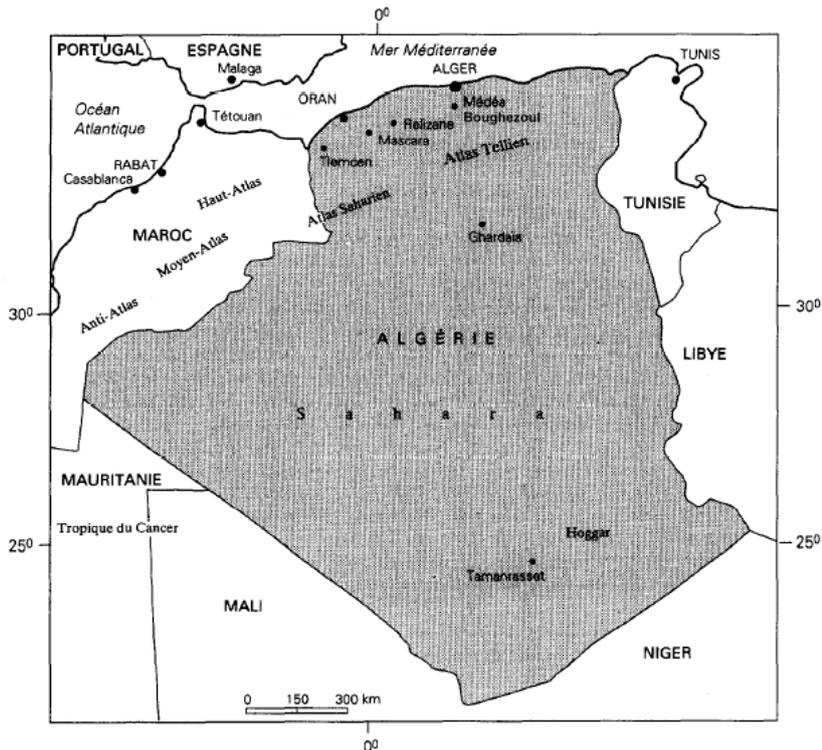


Figure 1-Localisation des parcelles expérimentales de l'INRF en Algérie

C'est dans ce cadre que les recherches ont été menées d'abord, dans les stations de l'INRF de 1986 -1995 à la faveur d'une convention de coopération entre l'INRF et l'IRD dans un réseau comprenant 50 parcelles d'érosion (80 à 220 m²) (ROOSE et al 1993). Ensuite, lorsque la situation sécuritaire s'est améliorée, les recherches se sont déployées sur le champ du paysan (1 hectare) sur les hauteurs du bassin versant du Chélif, près de Boughezoul (150 km au sud d'Alger) durant la période 2000-2004, grâce à un nouveau projet de recherche financé par le Centre de recherche des régions arides (CRSTRA) (ARABI et al, 2007). L'objectif est d'analyser les effets de la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) dans des situations agro-écologiques diverses en vue d'une exploitation intensive et durable des terres.

2. Dispositif expérimental.

Des essais ont été entrepris dans le réseau de parcelles d'érosion de l'INRF et chez les paysans (figure 1).

Le réseau INRF comprend 50 parcelles de mesure de l'érosion à Médéa (KOUIDRI et al., 1989; ARABI, 1991; ARABI et ROOSE, 1992), à Mascara (MORSLI, 1995), à Tlemcen (MAZOUR, 1992 ; CHEBBANI et al., 1995) et au Projet Oued Mina (convention INRF-DPAS) (BRAHAMIA, 1993). Ces parcelles mesurent 22,2 m de long et 4,5 à 10 m de large et sont isolées par des tôles fichées en terre. Chez le paysan à Boughezoul, 3 parcelles contiguës de 3200 m² (80 x 40 m) ont été sélectionnées sur un champ agricole d'un hectare. Ces parcelles sont isolées en amont de versant par un canal isohypse de dérivation des eaux de ruissellement de 80 x 60 cm et séparées par des plaques de tôles fichées à 10 cm dans le sol pour empêcher les écoulements latéraux. Des alignements de cyprès et filao marquent la limite des parcelles aménagées (ARABI et al, 2000 à 2004; ARABI et al, 2007). Au bas des parcelles, un canal dirige les eaux de ruissellement et leur charge solide vers deux à trois

cuves de stockage reliées par des partiteurs tarés sur le terrain. (ROOSE, 1968 ; ARABI, 1991; ARABI et al., 2000-2004).

Toutes les parcelles ont été équipées pour la mesure de la pluie (hauteur, intensité, érosivité), des coefficients de ruissellement annuel moyen (KRAM %) et maximal (KR_{max} %), de l'érosion en nappe et rigole (t/ha/an, comprenant les suspensions fines et les sédiments grossiers) la production de biomasse (rendement exprimé en q./ha par an), les revenus nets (en US \$/ha/an) et les paramètres d'état de surface (% de surface couverte, % de surface fermée par la battance, % de cailloux et d'humidité des dix premiers centimètres).

Dans chaque station définie par un type de sol, une pente (longueur constante et pourcentage fort, mais typique pour le sol considéré), un système de production en place depuis plus de dix ans et une pluviosité moyenne, on compare le comportement d'un témoin absolu (sol nu travaillé dans le sens de la pente) à un témoin régional (système de production traditionnel) et à un ou deux systèmes améliorés. Le climat méditerranéen est subhumide à Médéa à semi-aride dans les autres régions, sec et chaud en été, froid et pluvieux en hiver. Les améliorations consistent en un sous-solage en courbes de niveau, la pratique du paillage, l'emploi de semences sélectionnées, l'usage d'herbicides et de pesticides, des apports en fertilisants organiques et minéraux, une jachère fourragère de légumineuses, des cultures associées de blé et de fèves en rotation sous un verger d'abricotiers. A Boughezoul, on a introduit sur la parcelle améliorée des cordons en pierres en courbes de niveau, espacés tous les 20 m. Ces cordons sont consolidés par une plantation d'*Atriplex*. Les améliorations ont été conduites sur les 10 derniers mètres derrière les cordons, le reste étant occupé par l'impluvium.

2. Résultats et discussion

Le tableau 1 présente les principaux résultats des observations de 1988 à 1995 pour les parcelles expérimentales de l'INRF et le tableau 2 ceux observés de 2000 à 2004 chez le paysan à Boughezoul. Les répétitions pluriannuelles dans les stations de l'INRF et chez le paysan donnent des résultats cohérents.

Les précipitations.

Toute la région a connu des pluies déficitaires de 60 à 280 mm par rapport aux moyennes annuelles et peu agressives (Rusa inférieur à 50). La répartition des pluies est très aléatoire de septembre à avril. L'augmentation de la variabilité interannuelle accentue l'aridité du climat avec des années sèches de plus en plus nombreuses. Les intensités sont en général faibles. Durant la période 1948-1999, les pluies supérieures 20 mm par jour représentent à peine 5 % des averses. Les pluies maximales de l'année s'observent entre novembre et mai. L'indice d'érosivité des pluies calculé d'après la formule de WISCHMEIER et al. (1978) n'a pas dépassé la valeur de 50 unités USA. En comparaison, en Europe cet indice varie de 20 à 150, il est compris entre 50 et 350 en région méditerranéenne et dépasse 450 en zone tropicale où les pluies sont plus agressives (ROOSE, 1996).

Tableau 1- Effet de l'amélioration des systèmes culturaux sur le ruissellement, l'érosion, le rendement et le revenu annuel net à Ouzera (Médéa) (1 dollar US = 72 dinars). D'après ARABI et ROOSE, 1992

Systèmes	Kram %		Érosion t/ha/an	Rendements (q/ha/an)	Revenus nets (\$/ha/an)
	moyen	max			
Agropastoral * Traditionnel sur vertisol * Amélioré	2,4 0,9	14 5	0,23 0,05	7 b + 2,3 p 48 b+22 p + 70 f + 27 rc	521 5208
Sylvopastoral * Dégadé sur sol brun * Reforesté * Enherbé	15 0,6 1,0	25 2 4	2,0 0,05 0,03	---- --- ---	35 forfait forfait
Verger * Traditionnel sur sol rouge * Amélioré	5,0 0,7	12 3	0,9 0,1	11a 10 a + 64 f +33 b+ 19 rc	1250 6250
Vigne sur sol * traditionnel brun colluvial * Amélioré	2 0,2	8 2	0,2 0,01	29 r 37 r + 37 f + /29 b + 4 rc	2500 5100

b = blé, p = paille, f = fèves, rc = résidu de culture, a = abricot, r = raisin.

Le ruissellement

Le ruissellement annuel moyen (KRAM) a été discret sous végétation naturelle de pin d'Alep ou de jachères pâturées (0,6 à 4 %), modeste sous cultures, mais il peut dépasser 5 à 28 % sur sol nu même travaillé. Par contre, le ruissellement maximal (KRMAX) lors des averses abondantes tombant sur des sols humides et peu couverts peut dépasser 30 à 80% et être dangereux car il est à l'origine du ravinement des versants, des glissements de terrains qui laissent des traces durables dans les paysages et des inondations qui reviennent tous 5 à 10 ans. A Boughezoul, certains orages sont assez violents pour précipiter une grande quantité d'eau et provoquer des crues catastrophiques. C'est ainsi que plus de 90 % des pertes en terre annuelles peuvent être enregistrées en une seule pluie (ARABI, 2006).

L'érosion

L'érosion en nappe et rigole a été modérée malgré l'état de dégradation de la végétation sur les fortes pentes. Outre le faible indice d'agressivité des pluies, la résistance des sols ($K = 0,002$ à $0,025$), riches en argiles saturées de calcium et souvent caillouteux explique pourquoi l'érosion en nappe, quoique sélective vis-à-vis des particules légères (matière organique argile + limon) et des nutriments (ARABI, 1991), n'est pas le processus dominant dans cette région méditerranéenne. Même en comptant les plus fortes pertes en terre observées sur sol rouge fersiallitique et 35% de pente à Médéa, (soit $20 \text{ t/ha/an} = 1,3 \text{ mm de sol}$), il faudrait 2 siècles pour décaper l'horizon humifère sur 20 cm. L'érosion en rigole et l'érosion aratoire, non sélectives, semblent bien plus actives (4 mm/an , ROOSE, 1991) dans l'évolution de la couverture pédologique des versants montagnards méditerranéens : le décapage de l'horizon humifère est plus fréquent que son appauvrissement en particules fines. Le travail du sol participe activement à la formation des talus en bordure des champs. C'est ce qui explique aussi pourquoi le verger d'abricotiers planté il y a de cela 30 ans a perdu 15 cm d'épaisseur par rapport au niveau initial du sol. Ces résultats remettent en cause la pratique

systematique des terrassements dont l'écartement est calculé d'après la pente uniquement (équations de RAMSER et SACCARDY).

Effet des cordons empierrés sur le ruissellement et l'érosion

L'efficacité des cordons empierrés sur le ruissellement et l'érosion dépend de la hauteur des averses. En effet, ils fonctionnent remarquablement bien pour des averses inférieures au seuil de 50 mm de pluie. Ils agissent comme des filtres qui ralentissent la vitesse des écoulements, provoquent une baisse de la compétence du ruissellement et favorisent le dépôt des sables grossiers et des matières organiques en améliorant l'infiltration. Si les pierres sont bien juxtaposées elles filtreront les pailles, les fèces et diverses matières organiques flottantes, ce qui fait dire aux paysans que ce dispositif est bien adapté pour restaurer la fertilité des sols. L'horizon de surface, qui présente une teneur en matières organiques une fois et demi supérieure au sol en place s'épaissit d'une façon régulière dans l'amont immédiat de la structure. Pendant quatre années d'observation les pertes en terre accumulées derrière les cordons sont peu importantes (7 à 10 cm), tout au plus; signalant que les apports en éléments érodés: pailles, résidus de cultures et excréments modifient positivement et progressivement l'état structural du sol.

Il importe aussi de préciser que toutes ces pertes en terre sont à la fois le résultat combiné de l'érosion aratoire et de l'érosion en rigole (ARABI, 2007). Ainsi, la nouvelle couche superficielle semble moins vulnérable à la battance des pluies et à l'énergie du ruissellement. Cela a pu être vérifié par BOIFFIN et al. (1986) sur sol enrichi en matière organique. Seul l'excédent des eaux (averses supérieures à 50 mm) passe au-dessus du premier niveau de pierres. Ce seuil peut être dépassé de 20 mm si l'intensité de la pluie est faible ($> 20 \text{ mm.h}^{-1}$) mais pour des pluies exceptionnelles assez fréquentes dans la région en automne, les cordons peuvent être rapidement saturés. On a aussi observé qu'entre les tiges des *Atriplex*, les filets d'eau peuvent, quand les conditions de pluies deviennent exceptionnelles, se réorganiser en petites rigoles. Il semble que les herbes à rhizomes rampant à la surface du sol et à tiges nombreuses renforcent d'avantage le dispositif antiérosif. Mais cette solution a un prix: le risque d'une propagation rapide par voie de rejets ou de stolons tel que *Cynodon dactylon* sur les champs cultivés que les paysans ont du mal à contrôler.

Influence de l'amélioration des systèmes de production combinés aux cordons en pierres

Les rendements des cultures.

Les tableaux 1 et 2 montrent également que les rendements en grains et en paille sur parcelles améliorées de l'INRF sont supérieurs aux témoins régionaux et que les pertes en terre et en eau sont réduites sur ces parcelles qui ont bénéficié d'apports en fumier et en résidu de cultures. Ainsi les rendements observés sur des parcelles d'érosion de Médéa sont passés de 7 à > 45 quintaux/ha de blé, de 28 à 40 q/ha de raisin et de 8 à 10 q/ha d'abricots auxquels il faut ajouter 30 quintaux de fèves ou de blé intercalaire. En même temps, la production de paille et autres résidus de culture qui peuvent améliorer la production animale et le fumier, ont aussi augmenté significativement (de 0,2 à 2 ou 3 t/ha/an). Les cultures intercalaires dans les vignes et les vergers étaient pratiquées jadis mais un certain nombre de préjugés avaient fait régresser cette pratique pour éviter la concurrence hydrique. Les rendements obtenus sont très encourageants sans qu'on puisse observer une baisse de rendement de la culture fruitière qui ne développe son feuillage que tardivement. La faible productivité des abricotiers provenant d'un taux élevé de parasitisme (capnode, vers blancs et gommose surtout) et de la vieille

vigne de cuve a été largement compensée par la production de fèves durant les campagnes, le blé tendre a également donné satisfaction. L'introduction du *Médicago* bisannuel dans la rotation hivernale avec le blé, préconisé par les chercheurs de l'institut des grandes cultures a également donné satisfaction en produisant 34 qx/ha de fourrage de haute qualité (légumineuse). Si les semences étaient moins chères, cette culture pourrait servir à la résorption de la jachère en Algérie. Il faut noter que le déficit pluviométrique de ces dernières années n'a pas pénalisé la production grâce à une meilleure infiltration de l'eau, au travail du sol et à sa fertilisation.

Tableau 2- Effet de l'amélioration des pratiques culturales sur le ruissellement (moyen et max. en % des pluies), l'érosion (t/ha/an) et sur la biomasse et les revenus nets Boughezoul, années 2000/2004. (1 dollar US = 72 dinars).D'après ARABI et al., 2007

Revenus (\$/ha/an)	Rendements (q/ha/an)	Erosion (t/ha/an)	Krmax (%)	Kram (%)	Pluie (mm)	Systèmes
---	---	0,8	32	6	230	Témoin absolu sol nu travaillé//P
---	---	1,8	37	10	268	
---	---	2,3	35	12	270	
---	---	3	38	15	275	
---	---	2	34	11	273	
=500	3 b + 1 p	0,6	12	4	230	Témoin Traditionnel blé/ jachère travaillé//P Sans Engrais ni Produit Phytosanitaire Médiane/4ans
	---	0,8	14	5	268	
	4 b + 1 p	1,3	14	4	270	
	---	1,9	16	4	275	
	2 b + 1 p	1,6	14	4	273	
=7000	21 b + 10 p	0,5	3	2,5	230	T. Amélioré rotation: blé/fève, travail grossier x croisé \perp P +Fumier + (NPK); CE complantés en Atriplex et arbres fruitiers Médiane/4ans
	60 f + 20 rc + 3 fr	0,2	2	2	268	
	33 b + 15 p + 4 fr + 0,3ft	0,2	1	1,5	270	
	75 f + 25 rc + 5fr + 0,6ft	0,6	1	2	275	
		0,2	1,5	2	273	

b = blé, p = paille, f = fève, fr = fourrage, ft = fruits, rc = résidus de culture.

A Boughezoul, en dépit de l'insuffisance des pluies, l'expérimentation sur le champ du paysan a permis également de se rendre compte que les changements apportés aux systèmes de production sont rentables pour le paysan et ont accru sensiblement les revenus nets. Les rendements de production sont particulièrement plus élevés sur les dix mètres derrière les cordons empierrés : huit fois plus que chez le paysan contre cinq fois sur toute la parcelle (tableau 2). De plus les résidus de cultures augmentent nettement de telle sorte que la production animale et la disponibilité en fumier, si importante pour améliorer la fertilité et la stabilité des sols, peuvent ainsi s'améliorer. Dans la rotation bisannuelle fèves/blé, les fèves ont été efficaces dans leur rôle de piège à nitrate ce qui améliore la fertilité du sol et entraîne une plus vive réaction du blé à l'engrais phosphaté. Curieusement, la rotation céréale-légumineuse en fin d'expérimentation, semble réduire l'infestation des cultures par les adventices (folles avoines, Phalaris, Aulx, chiendents.....). Ainsi, une meilleure disponibilité en éléments fertilisants libérés par les matières organiques piégées et l'amélioration notable de l'alimentation hydrique par un sous-solage localisé derrière les barrières antiérosives ont contribué positivement à accroître la productivité des terres. De plus, les fèves sont riches en

protéines et aident ainsi à assurer l'équilibre alimentaire. Les paysans ne pouvant pas se permettre de manger des protéines animales régulièrement, peuvent améliorer leur régime alimentaire en incorporant des fèves qui sont riches en protéines. Ce qui favorise l'amélioration de leur nutrition et santé et contribue à la sécurité alimentaire des ménages.

Les revenus nets

La valorisation de la terre quand on intensifie la production végétale et qu'on améliore le système de production a permis d'accroître sensiblement le revenu agricole (tableaux 1 et 2). Une fois retranchés, les frais de graines, d'engrais, de produits phytosanitaires, il reste au paysan un revenu nettement supérieur dans les parcelles améliorées que dans les parcelles traditionnelles. L'expérimentation en plein champ chez le paysan confirme l'augmentation des résultats obtenus dans les parcelles expérimentales de l'INRF. Ainsi, selon le système de production retenu, le revenu peut être multiplié par 3 à 20 dans les parcelles de l'INRF et par 3 à 5 dans la parcelle expérimentale de Boughezoul. Avec un tel bénéfice, il n'est pas très difficile pour les paysans de saisir l'intérêt pour eux de changer de système de production (du blé extensif à la vigne intensive avec blé intercalaire) et d'adopter les techniques culturales améliorées, parmi lesquelles sont proposées les techniques antiérosives les mieux adaptées aux conditions écologiques et économiques du paysan.

Effet des cordons empierrés sur le foncier

On a constaté sur les premiers cordons encore à l'état juvénile une dégradation par la divagation du bétail. Dans ces zones de parcours la densité d'implantation de structures antiérosives doit tenir compte de la circulation du bétail depuis les pâturages jusqu'aux bas-fonds, lieu de l'abreuvement du bétail. Tant que la végétation n'a pas atteint quatre à cinq ans, il est recommandé que les gestionnaires des terres clôturent leur champ pour éviter le piétinement. Le cloisonnement des parcelles par des lignes de brises vent avec *Cupressus sempervirens f. horizontalis*, *Casuarina equisetifolia* a transformé le paysage en bocage et protégé les cultures de l'érosion éolienne contrairement aux parcelles témoins où des dépôts éoliens sont observés. Il faut noter que la méthode des cordons empierrés est assez bien connue en zone méditerranéenne. Elle s'intègre facilement dans les paysages et son prix de revient, de 111 à 179 \$ USA par 100 ML (1 \$ = 72 dinars algériens) selon la disponibilité de la pierre, mobilisant 20 à 30 hommes jours, peut être supportée par la plupart des paysans de la région.

CONCLUSION

L'objectif du travail est de trouver des systèmes de production durables pour doubler la production agricole d'ici 2025; un défi que l'Algérie s'est fixée. La réalisation de cette étude dans cinq sites bioclimatiques différents en milieu montagnard méditerranéen obéit à un souci de confirmation et de validation de résultats précédemment obtenus à la station INRF de Médéa en 1992. Notre démarche a reposé sur une gestion de conservation et de valorisation optimale des ressources en eau, en sol et en végétation. Elle consiste à introduire dans les systèmes de productions régionaux un ensemble de pratiques culturales cohérentes et aménagements alternatifs comme solutions pour préserver les sols et rétablir leur capacité de production. Les améliorations apportées (couvert végétal plus dense, pratique du paillage, fertilisation minérale et organique adaptée aux sols et aux cultures, rotation biennale avec

légumineuses, cultures intercalaires sous verger d'abricotiers consolidés par des cordons empierrés isohypses) et diversifications entre arboriculture fruitière, élevage (fumier), pâturage et arbustes fourrager, ont permis de réduire l'érosion en formant des terrasses progressives fertiles et de retarder le ruissellement. Mais elles ont surtout accru significativement la productivité des terres et la valorisation du travail, condition essentielle, pour inciter le paysan à préserver son "capital sol". En définitive, nous pouvons conclure qu'il est techniquement possible d'intensifier la production agricole et d'améliorer significativement les revenus des paysans sans dégrader l'environnement.

Références bibliographiques

- ARABI M., ROOSE E., 1989 — Influence de quatre systèmes de production sur l'érosion et le ruissellement en milieu montagnard méditerranéen de moyenne montagne méditerranéenne algérienne. *Bull. Réseau Erosion.*, 9 : 39-51.
- ARABI M., 1991 — *Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médéa, Algérie)*. Thèse doct., univ. Grenoble, 272 p.
- ARABI M., ROOSE E., 1992 - « Water and Soil fertility management (GCES). A new strategy to fight erosion in Algerian mountains ». In : *7th ISCO Conference Proc.* 3, 3 : 341-347.
- ARABI M., BOUROUGAA L., KEDAID O., 2000-2004 — Nombreux rapports et comptes rendus de mission, notes diverses. CRSTRA Biskra.
- ARABI M., 2006 — Aménagement antiérosif sur petits bassins versants expérimentaux en milieu semi aride algérien. *Z. Geomorphology NF* 50-2 pp 209-220.
- ARABI M., BOUROUGAA L., KEDAID O- 2007- Intensification de l'agriculture et réduction des risques érosifs en milieu semi aride algérien. Journées scientifiques Inter réseaux de l'AUF sous le thème « gestion intégrée de l'eau et du sol : ressources, aménagements et risques », Hanoi (Vietnam) 5-8 nov 2007. 8p.
- BOIFFIN J., PAPY F., PEYERE Y., 1986 — *Système de production, système de culture et risques d'érosion dans le pays de Caux*. Rapport INA . PG,INRA, 154 p + annexes .
- BRAHAMIA K., 1993 - *Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne : bassin versant de l'oued Mina (zone de Taassalet), Algérie*. Thèse doct. Géographie, Univ. Grenoble, 241 p.
- CHEBBANI R., MEDEDJEL N., BELAIDI S., 1995 – Application de la GCES dans la région de Tlemcen, Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 15 : 489-497.
- CENTRE NATIONAL DE L'INFORMATIQUES ET DES STATISTIQUES, 2009- Divers rapports du CNIS sur les importations de produits alimentaires
- KOUIDRI R., ARABI M., ROOSE E., 1989 -Premiers résultats de quantification du ruissellement et de l'érosion en nappe sur jachère en Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 9 : 33-38.
- MAZOUR M., 1992 - Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'oued Isser : Tlemcen, Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 12 : 300-313.
- MORSLI M., 1995 -Les sols de montagne et leur susceptibilité à l'érosion. *Cas des monts de Beni-Chougrane*. Thèse de magistère, Ina, Alger, 170 p.
- REMINI B., WASSILA H., 2005 — L'alluvionnement des retenues. Laboratoire: Eau-Roche-Plante. CUKM, Algérie 102 p.
- ROOSE E., 1968 - *Protocole standard pour les parcelles de mesure de l'érosion en nappe en accord avec le modèle USLE de Wischmeier*. Montpellier, Orstom, 12 p.
- ROOSE E., BERTRAND R., 1971 - Contribution à l'étude des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'ouest. *Agron. Trop.*, 26,11 : 1270-1283.
- ROOSE E., ARABI M., BRAHAMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M., MORSLI B., 1993 — Érosion en nappe et ruissellement en montagne algérienne. – *Cah. Orstom Pédol.*,28 : 289-308.
- ROOSE E. 1994. Introduction à la GCES. *Bull des sols FAO*, Rome , 420p.
- SACCARDY L., 1950 - Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. *Terres et Eaux*, 11 : 3-19.
- WISCHMEIER W. H., SMITH D. D., 1978 - *Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning*. Washington, USDA, Handbook no 537, 58 p.

Rehabilitation des sols volcaniques indurés d'Equateur et du Mexique: Comportement avant et apres mise en culture

Christian PRAT¹, Georges DE NONI², Jorge ETCHEVERS³, Aurelio BÁEZ⁴, Claudia HIDALGO⁵ et German TRUJILLO⁶

¹christian.prat@ird.fr, IRD-LTHE, France; ²georges.denoni@ird.fr, IRD Dakar, Sénégal; ³jetchev@colpos.mx, COLPOS, Mexique; ⁴pbaez@colpos.mx, INIFAP, Mexique; ⁵hidalgo@colpos.mx, COLPOS, Mexique; ⁶german_trujillo_yandun@hotmail.com, SAG, Equateur.

Résumé

En Amérique Latine, il existe des horizons volcaniques indurés qui couvrent de vastes superficies. Ces matériaux sont appelés «*cangahua*» en Equateur, «*talpetate*» en Amérique Centrale et «*tepetate*» au Mexique. Ce n'est qu'en arrivant au niveau des couches les plus dures, celles constituées par les *tepetates*, que l'érosion trouve une limite momentanée. Ces horizons sont en fait des tufs volcaniques, plus ou moins consolidés et indurés par des processus géologiques et pédologiques. En l'état naturel, ces «sols» sont stériles. Pauvres d'un point de vue chimique, ils ne sont pas plus attractifs au plan physique; leur induration et compaction limitent la circulation de l'eau et de l'air, le développement des racines et des microorganismes. Toutefois, il est possible de les convertir en sols productifs en l'espace d'une seule saison ! Pour cela, ils doivent être ameublés, puis émiettés en éléments plus fins pour constituer un support minéral poreux qui évoluera ensuite en sol grâce à l'apport de fertilisants organiques et/ou minéraux, et aux cultures.

Pour évaluer, le comportement au ruissellement et à l'érosion de ces matériaux, divers types d'observations et de mesures ont été réalisées pendant plusieurs années, en particuliers au Mexique et en Equateur. Plusieurs traitements traditionnels et améliorés ont été testés, de 1 à 1800 m² avec un simulateur de pluie ou sous pluies naturelles. Sous ces climats tempérés de montagne tropicale à saison sèche très marquée, les pluies sont localisées et brèves: 75% sont ≤ 30 mn et une intensité ≤ 5 mm h⁻¹. Moins de 12 pluies par an, présentent des énergies importantes (200 à 700 J m⁻² mm) et génèrent 80% du ruissellement et de l'érosion.

A l'état naturel, le ruissellement va de 60-70% dès les premiers millimètres de pluie à 100%. En aval, les reports hydriques sont considérables et sont à l'origine d'érosion catastrophique. En haut de versant et à cause de leur dureté et compacité, la perte en matériaux est faible (1 à 30 t/ha/an). La mise en culture de ces matériaux après leur défonçage, change radicalement ce comportement. Le ruissellement diminue considérablement mais l'érosion devient active, évoluant dans une très large gamme de 1 à 200 t ha⁻¹ an⁻¹ selon le travail du sol.

Trois paramètres permettent de réduire l'érosion de ces nouveaux sols limoneux: un travail préliminaire laissant suffisamment de fragments grossiers et limitant la part des fines, les cultures en associations et une gestion adéquate des matières organiques afin d'augmenter au plus vite sa teneur. Dans ces conditions, la production d'orge au Mexique, dès la 1^{ère} année, dépasse de 20% la moyenne régionale ! Ces tufs sans carbone, une fois convertis en sols, ont une capacité de capture de cet élément dans de très grande proportion, qui doit être pris en considération dans le cadre du réchauffement climatique. Au Mexique, en 4 ans, pour des cultures ayant très peu d'apports de C, la concentration de C est passé de 0 à 5 gr kg⁻¹ de sol, alors qu'un sol cultivé et recevant de forts apports de C, a vu son stock s'élever à 20 gr kg⁻¹ de sol. Dans ces pays, la transformation des tufs volcaniques indurés en sols cultivables est donc possible si l'on suit quelques règles simples avant et après la création de ces nouveaux sols limoneux. Reste que les coûts de ces transformations sont très élevés et hors de porté du petit paysan. Dans la mesure où elles jouent un rôle socio-économique (maintient de l'agriculture, réduction des inondations et destructions qui en découlent) et environnemental (séquestration du C), l'état devrait assumer une grande part de ces frais. Il pourrait se financer lui même en utilisant par exemple l'argent récupéré de cette capture du carbone via le marché international du carbone.

Mots-clés : Équateur, Mexique, ruissellement, érosion, restauration, conservation, carbone, sols volcaniques indurés.

Resumen

En América Latina, existen horizontes volcánicos endurecidos que cubren grandes áreas. Estos materiales son llamados «*cangahua*» en Ecuador, «*talpetate*» en América Central y «*tepetate*» en México. Los suelos que los cubrían fueron desgastados por la erosión. Es solamente al llegar a las capas más duras, las conformadas por los *tepetates/cangahuas*, que este proceso destructivo encuentra momentáneamente un límite. Estos horizontes son de hecho tobas volcánicas, más o menos consolidadas y endurecidas por procesos geológicos y edáficos.

En su estado natural, estos "suelos" no son fértiles para la agricultura. Pobres desde un punto de vista químico, tampoco son atractivos a nivel físico: su endurecimiento y compactación limitan la circulación del agua y del aire, y el desarrollo de las raíces y los microorganismos. Sin embargo, es posible convertirlos en suelos productivos en una sola temporada! Para esto, hay que aflojarlos, luego molerlos en elementos más finos para conformar un soporte mineral poroso inorgánico que luego evolucionará a suelo gracias a los aportes de fertilizantes orgánicos y/o minerales, así como a los cultivos.

Para evaluar el comportamiento de la escorrentía y la erosión de estos materiales, se realizaron varios tipos de observaciones y mediciones durante varios años, especialmente en México y Ecuador. Se comprobaron tratamientos tradicionales y mejorados desde 1 hasta 1800 m² con un simulador de lluvia o bajo lluvia natural. En esta época seca templada a tropical de montaña pronunciada, las lluvias son localizadas y de corta duración: 75% ≤ 30 minutos con una intensidad ≤ 5 mm h⁻¹. Son menos de 12 lluvias al año las que tienen alta energía (de 200 a 700 J m⁻² mm) y generan 80% de la escorrentía y la erosión.

En el estado natural, la escorrentía es de 60-70% a partir de los primeros milímetros de lluvia hasta el 100%. Aguas abajo, las corrientes de agua pueden ser importantes y causar una erosión catastrófica. Aguas arriba y debido a su dureza y compacidad, la erosión de estos materiales es débil (de 1 a 30 t ha⁻¹ año⁻¹). Poner a cultivar estos materiales después de romperlos, cambia dramáticamente este comportamiento.

La escorrentía disminuye significativamente, pero la erosión se activa, evolucionando en una gama muy amplia, desde 1 hasta 200 t ha⁻¹ año⁻¹, de acuerdo al tipo de trabajo de suelo que se hizo. Tres parámetros permiten minimizar la erosión al máximo de estos nuevos suelos francos: 1/un trabajo preliminar que deja suficientes fragmentos gruesos y que limita la proporción de elementos finos, 2/ cultivos en asociaciones y 3/ una gestión y manejo adecuado de la materia orgánica para incrementar lo antes posible su contenido. Bajo estas condiciones, la cosecha de cebada en México, desde el primer año, superó el promedio regional de un 20%! Estas tobas sin carbono, una vez convertidas en suelos, tienen la capacidad de capturar este elemento en una muy alta proporción, lo cual debe tenerse en cuenta en el contexto del calentamiento global. En México, en 4 años, para cultivos con muy poco C, su concentración se incrementó de 0 a 5 g kg⁻¹ de suelo, mientras que con un nuevo suelo cultivado y que recibe altas tasas de C, el almacenaje de este elemento llegó hasta los 20 g kg⁻¹ de suelo. En estos países, la transformación de toba volcánica endurecida en suelos de cultivo es posible entonces, siempre y cuando se sigan algunas reglas simples antes y después de la creación de estos nuevos suelos francos.

Sin embargo, los costos de estas transformaciones son muy altos y fuera del alcance de los pequeños agricultores. En la medida en que desempeñan un importante papel socio-económico (mantenimiento de la agricultura, reducción de las inundaciones y la destrucción que conlleva) y ambiental (captura de carbono), el Estado debería asumir la mayor parte de estos costos. Podría financiarse gracias a los ingresos obtenidos de la captura de carbono a través del mercado internacional de este elemento.

Palabras-claves : Ecuador, México, Nicaragua, escurrimiento, erosión, restauración, conservación, carbono, suelos volcánicos endurecidos, *cangahua*, *tepetate*, *talpetate*.

Abstract

In Latin America, there are hardened volcanic horizons that cover large areas. These materials are called "*cangahua*" in Ecuador, "*talpetate*" in Central America and "*tepetate*" in Mexico. The soils covering them were worn out by erosion. It is only by reaching the hard layers, formed by the *tepetates/cangahuas* that this destructive process is temporarily capped. These horizons are in fact volcanic tuff more or less consolidated and hardened by geological and soil processes. In their natural state, these "soils" are not fertile for agriculture. Poor from a chemical point of view, they are not physically attractive either; their hardening and compaction limit the movement of water and air, and the development of roots and microorganisms.

However, it is possible to turn them into productive soil in one sole season! To do this, we must loosen them, then grind them into finer elements to form an inorganic porous mineral support, which will then evolve and turn into soil thanks to the contributions of organic fertilizers and/or minerals, as well as crops. To evaluate the performance of the runoff and erosion of these materials, several types of observations and measurements were made for several years, especially in Mexico and Ecuador. Traditional treatments were tested and improved from 1 to 1800 m² with rainfall simulator or under natural rain.

In this temperate to tropical dry steep mountain season, rains are localized in certain areas and for short periods: 75% ≤ 30 minutes with an intensity ≤ 5 mm h⁻¹. There are less than 12 rains per year, of high energy (200 to 700 J m⁻² mm), and generate 80% of runoff and erosion.

In natural state, runoff is 60-70% from the first millimeters of rain up to 100%. Downstream water flows can be significant and cause catastrophic erosion. Upstream and due to their hardness and compactness, the erosion of these materials is weak (1 to 30 t ha⁻¹ yr⁻¹). Cultivating these materials after breaking them leads to substantial changes in their behavior.

Runoff decreases significantly, but erosion is active, evolving into a very wide range from 1 to 200 t ha⁻¹ yr⁻¹ according to the type of tillage that was done. Three parameters are used to minimize erosion to the best in these new loam soils: 1/ preliminary work leaving enough thick fragments and limiting the proportion of fine elements, 2/ crop associations, and 3/ arrangement and proper management of organic matter to increase its content as soon as possible. Under these conditions, barley crop in Mexico, from the first year, surpassed the regional average of 20%! These tuffs without carbon, once converted into soil, have the ability to capture this element in a very high proportion, which should be considered in the context of global warming. In Mexico, in 4 years, in crops with very little C, its concentration increased from 0 to 5 g kg⁻¹ soil, while in a new cultivated land, receiving high rates of C, the storage of C reached 20 g kg⁻¹ soil. In these countries, the transformation of hardened volcanic tuff into agricultural soils is then possible, provided some simple rules are followed before and after the creation of these new loam soils.

However, the costs of these transformations are very high and unaffordable for small farmers. As they play an important socio-economic (agriculture maintenance, reduction of flooding and the destruction involved) and environmental role (carbon sequestration), the State should assume most of these expenses. They could be financed with the proceeds of carbon sequestration through the international carbon market.

Key words : Ecuador, Mexico, Nicaragua, runoff, erosion, restoration, conservation, carbon, hardened volcanic soils, *cangahua*, *tepetate*, *talpetate*.

INTRODUCTION

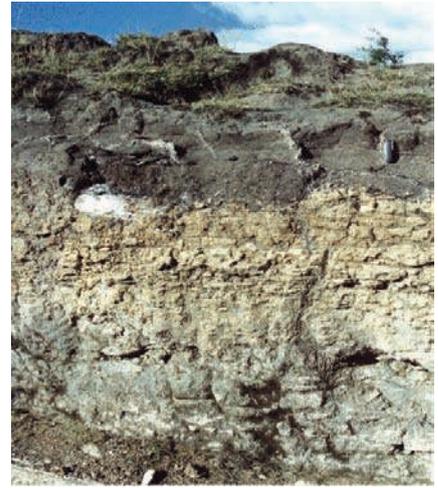
Les Andosols sont des sols volcaniques qui couvrent environ 1% des surfaces cultivées soit 110 millions d'ha (FAO/EC/ISRIC, 2003). On peut y associer d'autres sols dérivés de matériaux d'origine volcanique classés comme Cambisols, Acrisols, Ferralsols, Phaeozems, Leptosols et Regosols (IUSS WRB, 2007). Ainsi on peut estimer qu'environ 10% des surfaces cultivées sont d'origine volcanique ! Dans certains pays, comme ceux d'Amérique Centrale, le Mexique et les pays andins, ce pourcentage peut varier de 20 à 90% des surfaces cultivées ! En outre, ces sols supportent des densités de population très élevées allant parfois jusqu'à 90% de la population totale d'une région ou d'un pays ! En règle générale, ces sols possèdent un ou des horizons indurés plus ou moins proches de la surface et couvrent d'immenses surfaces: plus de 3 000 km² en Equateur (Custode et al., 1992); 2 500 km² au Nicaragua (Prat et Quantin, 1992); environ 15 000 km² en Colombie (Faivre et Gaviria, 1991); 30 700 km² au Mexique (Zebrowski, 1992). Ces matériaux sont appelés *toba* au Chili (Casanova et al., 2009) et au Pérou (Nimlos & Zamora, 1992), *cangahua* de la Colombie jusqu'au Pérou (Zebrowski, 1992), *talpetate* en Amérique Centrale (Prat et Quantin, 1992) et *tepetate* au Mexique (Werner et al., 1988; Peña y Zebrowski, 1992; Quantin et al., 1992). *Talpetate* et *tepetate* sont des termes d'origine Nahuatl pour le Mexique et l'Amérique Centrale et signifie « lit de pierre » (Simeon, R, 1887; Williams, 1992). En Colombie (Faivre & Gaviria, 1991) et Equateur (Colmet-Daage, 1969; Winckell et Zebrowski, 1992) le terme Aymara *cangahua*, fait également référence à une couche dure. Au Pérou et au Chili, ce sont les termes scientifiques *hardpan* et/ou *toba* (tuf, en espagnol) qui sont utilisés. Par commodité et du fait de leurs caractéristiques similaires, nous désignerons ici, sauf précision, comme *tepetates/canguahuas* ces matériaux indurés d'origine volcanique.

Quand ces horizons indurés affleurent, notamment sous l'effet de l'érosion, il est impossible de les cultiver. L'absence de fertilité de ces sols a de lourdes conséquences sur les populations locales, déjà souvent marginalisées. De plus, l'imperméabilité de ces matériaux provoque à l'aval en cas de fortes pluies, de graves inondations dans les parties basses des vallées. Les *tepetates-cangahuas*, ont toujours fait l'objet d'un usage agricole ou architectural. Au Mexique de nombreuses pyramides, comme la fameuse pyramide du soleil (en fait de Tlaloc, dieu de la pluie !) à Teotihuacan ou le site de Cacaxtla (Tlaxcala), ont été élevées avec des blocs de *tepetates* (Aliphath & Werner, 1994). Sur l'altiplano, beaucoup de maisons rurales sont encore souvent construites avec ces matériaux.

Sous l'effet de la pression démographique, le manque de terre a conduit à travailler ces matériaux affleurants et stériles afin de créer de nouveaux sols. Ils le furent d'abord à la main à l'aide de pic. La mécanisation via des tracteurs puis des engins plus puissants comme des bulldozers arrive en 1960. Le travail de défonçage devient alors plus rapide, plus profond mais aussi bien plus érosif qu'autrefois. Quant aux coûts, ils sont impossibles à assumer par des petits paysans sans aide financière.

En Equateur, à cause notamment des très fortes pentes, c'est le système des terrasses progressives avec formation de bord de terrasse à partir de blocs de *cangahua* qui est le plus souvent utilisé. Le défonçage se faisant le plus souvent à la main, les fragments de *cangahua* sont relativement gros, générant ainsi un macro relief favorisant l'infiltration des pluies et limitant les risques d'érosion hydrique. Au Mexique, par contre, les pentes sont plus modérées et la formation de terrasses aplanies au bulldozer sont privilégiées. Mais, si le nombre de passages et la vitesse des engins sont trop élevés, le *tepetate* est réduit en poudre, ce qui favorise une érosion hydrique.

Il est donc très important pour les pays d'Amérique Latine situés sur la dorsale Andes-Sierra Madre, de savoir ce que sont réellement les *tepetates-cangahuas*, de connaître les conditions de leur dégradation afin de comprendre et de trouver des solutions pour éviter leur destruction, de proposer leur réhabilitation agricole et forestière durable et ainsi réduire les risques d'inondations en aval de ces zones.



Photos 1a) *Toba* (Chillán, Chili) 1b) *Cangahua* (Equateur) (Prat, C.)



Photos 1c) *Talpetate* (Masaya, Nicaragua) 1d) *Tepetate (T)* (S. M. Tlaixpán, Mexique) (Prat, C.)

Des propriétés physiques et chimiques conditionnées par leur origine géologique et pédologique

Ces horizons volcaniques indurés sont associés à l'axe volcanique qui va de l'Alaska jusqu'à la Terre de feu. Zone de subduction des plaques pacifiques sous les plaques continentales américaines, le volcanisme le plus fréquent est de type explosif, et en particulier phréato-magmatique. Celui-ci a la particularité d'émettre des coulées de boues plus ou moins chaudes et liquides, qui peuvent couvrir des milliers de kilomètres carrés. Les émissions de cendres qui suivent ces dépôts et qui les recouvrent, formeront les sols.

Les *tepetates-cangahuas* doivent donc leur consolidation et induration à des processus géologiques sur lesquels peuvent se surimposer des processus pédologiques, renforçant encore leur compacité et leur induration.

Sous l'effet de l'altération initiale de ces matériaux pyroclastiques, il peut y avoir une fusion des verres formant un squelette poreux et/ou des argiles de type halloysite ou metahalloysite localisées en bordure des verres et/ou remplissant les pores occlus. La nature de ces matériaux, leur mode de dépôts, de dessèchement et de porosité, font qu'ils deviendront massifs, compacts et peu perméables.

Cette structure massive initiale, peut être renforcée dans un second temps sous l'effet de dépôts liés à des processus de dissolution et déposition. La calcite et/ou la silice, tout comme l'altération des matériaux en argile peuvent jouer un rôle important. Les conditions de température et la pluviométrie sont alors des facteurs clefs qui orienteront et

intensifieront ces processus : 1/ sous climat à saison marquée, les processus de cimentation secondaire sont soit insignifiants, soit hérités de paléoclimats (Faivre y Gaviria, 1992; Hidalgo et al., 1999; Prat et Quantin, 1994; Sedov et al., 2003; Zebrowski, 1997). Dans ce cas, se sont souvent des carbonates qui ont rempli les porosités internes des agrégats et leur surface. L'induration peut alors être particulièrement marquée (Fedoroff et al, 1994). 2/ sous climat humide, la dissolution en haut de profil et/ou de versant et le dépôts de silice dans le profil et/ou bas de versant peut créer une induration pédologique (Campos et Dubroeuq, 1990; Jongmans et al., 2000). Ces processus sont le plus souvent encore actifs et concernent surtout des niveaux pédologiques relativement profonds.

Les *tepetates* non carbonatés ont une composition granulométrique où les argiles représentent entre 35 et 42% (Peña et Zebrowski, 1992), alors que les *talpetates* au Nicaragua (Prat et Quantin, 1992), les *cangahuas* en Equateur et les *tepetates carbonatés* au Mexique (Quantin et al., 1993), n'en possèdent qu'une dizaine de pourcents.

Ces matériaux compacts ont une porosité faible et qui est de plus, constituée de bulles occluses. La circulation de l'eau et de l'air ainsi que le développement des racines et des microorganismes sont donc extrêmement limités au sein de la matrice de ces matériaux.

Tableau 1: Caractéristiques physiques des tepetates, talpetates et cangahuas (Sources : ¹ Peña & Zebrowski, 1992; ² Prat et Quantin, 1992; ³ Quantin, 1997).

		Argile %	Limon fin %	Limon grossier %	Sable fin %	Sable grossier %	Densité réelle	Densité apparente	Porosité totale %
Tepetate ¹ (Mexique)	Min.	25,1	12,8		21,7		2,3	1,2	32
	Moy.	35,6	21,2		43,2		2,4	1,5	50
	Max.	42,0	41,8		60,4		3,0	1,6	64
Talpetate ² (Nicaragua)	Min.	12,5	39	14	24,5	10	2,7	1,0	50
	Moy.	13,3	38,5	13	28,3	7	2,8	1,1	65
	Max.	14	38	12	32	4	3,0	1,3	70
Cangahua ³ (Equateur)	Min.	6,9	15,2	5,1	18,2	9,7			
	Moy.	12,7	26,6	8,7	26,0	24,3			
	Max.	23,6	40,7	11,3	35,2	40,3			

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des tepetates, talpetates et cangahuas (Sources : ¹ Peña & Zebrowski, 1992; ² Etchevers et al. 1992; ³ Prat et Quantin, 1992; ⁴ Quantin, 1997)

		pH eau	pH KCl	C %	N tot %	P assi ppm	CEC -----	Bases échangeables Ca Mg Na K mg/100 gr de so l -----				S -----	S/T %	FeO ₂ libre %
Tepetate ^{1,2} (Mexique)	Min.	7,3	6,3	0,08	0,01	3≤	17	6,7	4,5	0,4	0,6		58	1
	Moy.	8	7	0,15	0,02	3≤	25	15	7	1	2		80	1
	Max.	8,9	7,4	0,36	0,07	3≤	41	45,3	11,9	3,9	3,4		100	3
Talpetate ³ (Nicaragua)	Min.	6	4,4		tr		20						20	
	Moy.	6,5	5	0,5	0,07	3≤	30	20,4	5,4	0,2	2,5		50	5
	Max.	7	5,4				40						≥50	
Cangahua ⁵ La Tola (Equateur)	Min.	7,3					22.0	14.2	7.3	0.3	1.6	23.4	100	
	Moy.					3≤	16.2	9.1	5.7	0.5	0.4	15.7	97	
	Max.	8,4					16.2	9.1	5.7	0.5	0.4	15.7	97	

S/T : Taux saturation

D'un point de vue chimique, ces matériaux ont un pH neutre, à légèrement alcalin qui peut être franchement alcalin (8,5 à 9) dans le cas d'encroulements calcaires. Les teneurs en C et N ont des teneurs très faibles et sont réduits pratiquement à l'état de traces tout comme le phosphore assimilable. Les teneurs en bases échangeables sont élevées avec une capacité d'échange cationique élevée ($\geq 25 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$). La vie microbienne est extrêmement réduite tant en diversité qu'en nombre d'organismes vivants (Sánchez et al.,

1987, Ferrera et al, 1992). Ces matériaux ont donc une faible fertilité qu'il faudra profondément améliorer si l'on souhaite voir pousser des plantes (Etchevers et al., 1998).

Les *tepetates-canguahuas* sont donc des matériaux géologiques altérés au cours de leur mise en place ; il n'y a plus de processus d'induration actuellement (sauf exception en zone perhumide). En d'autres termes, rompre ces matériaux n'entraîne aucun risque de reformation d'un horizon induré et massif.

Une distribution topographique particulière

L'origine géologique des *tepetates-canguahuas* explique la distribution topographique de ces matériaux qui se répartissent de façon plus ou moins régulière, du sommet jusqu'à la base du volcan qui les a émis. Toutefois, masqués par les cendres qui les recouvrent, ils n'affleurent que lorsque l'érosion a décapé les niveaux sus-jacents. La cartographie de ces affleurements via des observations de terrain et des traitements d'images satellitaires, montre qu'au Mexique (Servenay & Prat, 2003), en Equateur (Custode et al., 1992; de Noni & Viennot, 1997) ou au Nicaragua (Bice, 1985; Prat & Quantin, 1994) leur distribution est liée à des conditions climato-topographiques et à certains usages agropastoraux.

Dans des zones climatiques ustic - isothermic (Soil Taxonomy, 2010) ayant des périodes de sécheresse très marquée de 4 à 6 mois et dont la pluviométrie varie entre 500 et 800 mm an⁻¹, les *tepetates-canguahuas* affleurent principalement dans les zones de piedmonts dès que les pentes sont supérieures à 5%. Ces zones sont densément peuplées, et les terres ont été ou sont cultivées de façon intensive et supporte une charge animale importante. En Equateur, la zone concernée va de 2 400 à 2 800 m d'altitude alors que pour le Mexique, elle est comprise entre 1 800 et 2 400 m, Les sols à horizon induré "duric" et "calcaric", proche de la surface ou en surface, ont des propriétés mixtes "petrocalcic" (calcaire) et de "duripan" (silicifié) si l'on suit la classification de l'USDA (2010). Au Nicaragua, entre 50 et 500 m d'altitude, le *talpetate* a les propriétés physiques d'un "duripan" sans être carbonaté.

Sous climat subhumide, caractérisé par une transition de régime ustic à udic et isomésic avec une saison sèche de 3 à 4 mois et une pluviométrie de 700 à 1 200 mm an⁻¹, les horizons indurés apparaissent également mais de façon plus limitées. Les zones concernées en Equateur, sont comprises entre 2 800 et 3 400 m, au Mexique, entre 2 400 et 2 600 m, et au Nicaragua entre 500 et 700 m, L'horizon induré est de type "fragipan" (USDA, 2010) : dur à l'état sec mais friable et plastique à l'état humide.

Au delà de 3 400 m en Equateur, de 2 600 m au Mexique et de 700 m au Nicaragua, le climat est humide à perhumide avec un régime udic-perudic et isomésic (limite à isofrigid), une nébulosité diurne fréquente et une pluviosité de 1 200 à 1 500 mm an⁻¹. C'est le domaine des *paramos*, des forêts et des prairies d'altitudes. Les horizons indurés se trouvent à plus de 50 cm de profondeur de la surface du sol qui sont des sols à caractères andiques très marqués. Ils n'affleurent que très rarement. Ils sont plus épais, compacts plutôt qu'indurés et extrêmement friables.

Des tufs pyroclastiques indurés ameublés pour être cultivés

Sous l'effet de l'érosion hydrique, le plus souvent d'origine anthropique, les sols meubles sont érodés et les couches les plus dures et compactes apparaissent alors. Impropres à l'agriculture et limitant de façon drastique la vie même de la végétation la moins exigeante, ces terrains sont alors abandonnés. Seuls, de maigres pâturages extensifs subsistent et sont utilisés par les membres les plus pauvres des communautés rurales (Prat et al., 1997; de Noni et al., 2001). Quand les zones érodées couvrent de très grandes surfaces, les conséquences sociales sont très graves : les paysans émigrent ou vont cultiver toujours plus haut vers de nouvelles terres qui seront à leur tour soumises à l'érosion (Gondard & Mazurek, 2001).

Il est toutefois possible d'inverser cette situation et revenir à des conditions plus favorables à une agriculture rentable et durable. Si l'induration a une origine

essentiellement géologique ou paléoclimatique (ce qui est le plus souvent le cas), on peut en effet envisager une décompactation mécanique sans craindre une réapparition de la cimentation sous l'effet de processus pédologiques. On pourra alors, moyennant un investissement plus ou moins important, convertir ces matériaux stériles en sols productifs, et ce, en l'espace d'une seule saison !

Pour cela, les *tepetates/cangahuas* doivent être ameublés, puis émiettés en éléments plus fins pour constituer un support minéral poreux. Les premiers travaux de réhabilitation au Mexique ont visé à reforester les zones érodées, puis très rapidement, ce sont des champs qui ont été créés (Navarro & Prat, 1996). Des apports de fertilisants organiques et/ou minéraux permettent alors de faire évoluer en sols, ces matériaux meubles et inertes (Cangás & Trujillo, 1997; Pimentel, 1992; de Noni et al., 2000). Les rendements agricoles obtenus, seront à la hauteur des investissements consentis (Navarro & Zebrowski, 1992). Encore faut-il que tous ces efforts ne soient balayés par l'érosion qui emporterait ces nouveaux sols. C'est pourquoi, de nombreuses études portant sur la compréhension de l'origine de l'érosion, ses mécanismes d'actions et les moyens de la limiter ou de la réduire, ont été menées dans ce contexte géo-pédologique (de Noni et al., 1994). L'idéal, reste que plutôt que de créer de nouveaux sols, mieux vaudrait protéger ce qui existe et ne pas arriver à ces situations extrêmes.

Au Nicaragua, les études portant sur l'érosion ont été menées sur les sols recouvrant les *talpetates* et non sur les *talpetates* eux-mêmes. En effet, les affleurements de ces matériaux étant pour l'instant encore très rares, les recherches portent sur les conditions de conservation des sols en place et non sur les conditions de mise en culture des *talpetates*.

Nous ne présenterons donc ici que les résultats obtenus au Mexique et en Equateur, portant sur les *tepetates* et *cangahuas* affleurants.



Photos 2a. Erosion sur cangahua, Equateur (de Noni). 2b : Versant pommes de terre avec ruissellement concentrée, Equateur (de Noni).



Photos 2c. Erosion sur *tepetate*, Tlaxcala, Mexique.

2d : Erosion sur *tepetate*, en ravines Tlaxcala, Mexique (noter la succession de couches indurées de *tepetate* et de paléosols) (Prat, 1994).

Des conditions climatiques favorisant l'érosion hydrique.

Les études ont été menées principalement dans la zone climatique de type tropical à tempéré montagnard à saison sèche marquée. Ces climats associent une température moyenne annuelle régulière (isoméscic) de 17°C, tempérée, avec de grandes variations diurnes: la température moyenne des minimums est de 10°C tandis que celle des maximums est de 25°C; mais une variation supérieure à 20°C est couramment observée en saison sèche, où les nuits claires de sévères gelées apparaissent. Le climat peut être également tropical à tempéré semi-humide à saison sèche marquée par la faible amplitude des températures moyennes journalières, mensuelles et annuelles et surtout par une répartition bimodale des pluies (maximum en octobre à juin pour l'Equateur et de juin à octobre pour le Mexique). Le total annuel fluctue autour de 700 mm et est extrêmement variable non seulement d'une année sur l'autre mais aussi au sein d'une même année pendant laquelle une période très pluvieuse peut succéder à une période très sèche. On peut ainsi passer d'une valeur associée à un régime subaride (450 mm), à celle d'un régime subhumide (1050 mm) l'année suivante !

Tableau 3. Pluviométrie moyenne annuelle La Tola et à Cangahua, Equateur: 1986-1991 et 1994-1996 (de Noni et al., 2000).

	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	moy 86-91	94-95	95-96	moy 86-96
Cangahua	452	436	692	489	700	554	369	676	545
La Tola	688	706	692	628	777	685	750	1049	746

NB. une saison des pluies est répartie sur 2 années calendaires, d'octobre à juin.

Tableau 4. Caractéristiques principales des pluies de 1992 à 1996 à San Miguel Tlaxpán, Mexique (Prat et al., 1997).

	1992	1993	1994	1995	1996	'92-'96
Nombre de jours avec pluies	126	81	105	120	90	105
Hauteur totale (mm)	654	411	736	768	587	627
% de la hauteur de pluies enregistrées vs totales	100	96	81	69	72	83
R métrique	259	96	216	197	204	194
R us	149	55	124	113	118	112
Essais de classification de l'année pluviométrique	Normale et érosive	Très sèche	Normale	Irrégulière	Sèche et irrégulière	Année moyenne

Sous ces climats à saison sèche très marquée, les pluies sont très localisées et très brèves : 75% durent moins de 30 mn et ont une intensité très faibles (<5 mm/h). En fait, seules quelques pluies dont le nombre est variable selon les années (de 5 à 20), présentent une énergie suffisamment importante (de 200 à 700 t m ha⁻¹ mm⁻¹) pour être susceptible d'éroder sévèrement les sols. Ces valeurs, bien que fortes, n'ont rien d'exceptionnelles au niveau mondial. Reste qu'il faudrait plus d'années d'enregistrements pour être assuré d'avoir mesuré les évènements les plus agressifs.

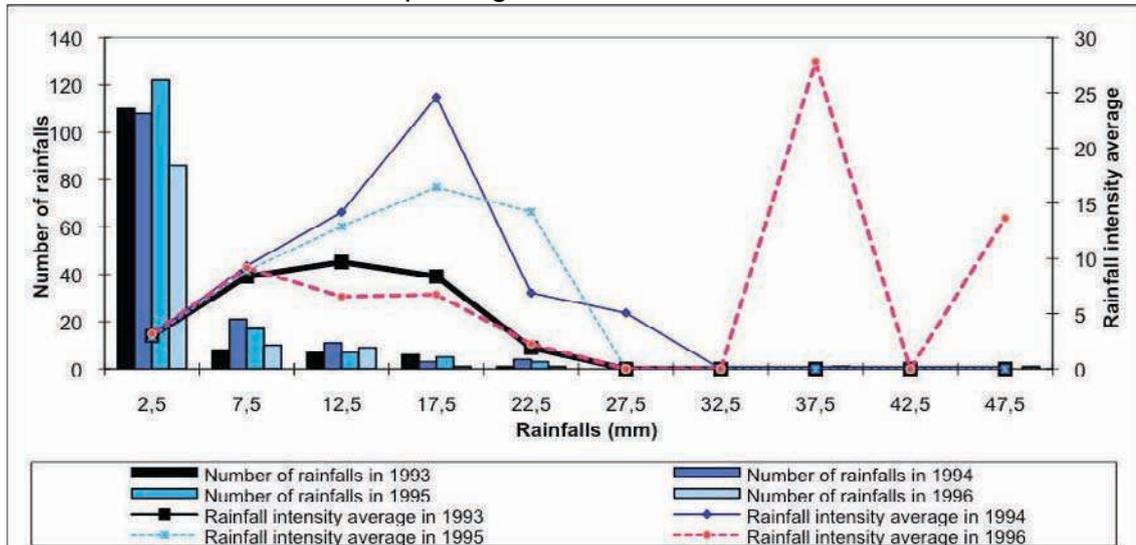


Figure 1. Quantité et intensité moyenne des pluies tombées entre 1993 à 1996 à San Miguel Tlaixpan, Mexique (Prat et al., 1997).

Dans nos conditions d'études, l'énergie cinétique totale des pluies est un critère explicatif de l'érosivité des pluies bien meilleur que leur intensité ou leur hauteur. A défaut, l'analyse de la pluie sous ces climats, doit se faire sur la base de l'intensité durant 10 à 15 mn, et non 30 mn, temps trop long au regard de la courte durée des pluies (Prat, 1997). Dans ce cas, l'érosivité moyenne des pluies baisse trop et ne reflète plus la réalité. L'indice d'érosivité des pluies de Wischmeier basé sur une I_{30} et couramment utilisé en Amérique Latine, sous estime donc largement la réalité et devrait être remplacé par l'énergie totale.

En plus de l'érosivité potentielle des pluies, la période de l'année et l'état de surface s'y référant jouent un rôle déterminant quant aux processus générant ruissellement et érosion. Ainsi, le second facteur important est l'état du sol, et en particulier, l'existence ou non d'un couvert pouvant servir de protection aux impacts des gouttes de pluies (Roose, 1977; Casenave & Valentin, 1989). Or la plupart des pluies les plus intenses dans ces régions, se produisent à la fin de la saison sèche, c'est à dire quand les sols sont traditionnellement peu couverts et donc potentiellement très érodables. Ne pouvant agir sur les pluies, il ne reste que la possibilité de développer des stratégies liées à la gestion du sol et de sa couverture de surface pour réduire l'érosion hydrique.

Pour comprendre les processus en jeu, étudier et comparer les meilleurs systèmes agraires vis à vis du ruissellement et de l'érosion hydrique, des campagnes de mesures et d'observations ont été conduites à plusieurs échelles (depuis le cm² jusqu'à plus de 1000 m²) en laboratoire comme en plein champs, sous pluies artificielles dont les caractéristiques ont été fixées à partir de l'analyse des pluies naturelles et sous pluies naturelles, et ce pendant plusieurs années et dans plusieurs sites.

L'étude des processus érosifs sous pluies simulées.

Les simulateurs de pluies utilisés le plus couramment au Mexique pour étudier les tepetates, sont d'une part, le simulateur à disques giratoires de type Morin utilisé en laboratoire sur des surfaces de 0,4 m² (Delgadillo Piñon et al., 1989) et d'autre part, l'infiltromètre à aspersion modèle Purdue qui teste des sols en place sur des parcelles de

7x1 m (Alcala & Oropeza, 1998). En Equateur, c'est essentiellement l'infiltromètre à aspersion, modèle ORSTOM, qui a été utilisé sur des parcelles de 1 m² et sur des pentes variant de quelques % à près de 20% (De Noni et al. 1990, Leroux & Janeau, 1997; Podwojewski et al., 2008). Ces essais sont complétés par des tests de stabilités structurales, d'infiltrométrie, des suivis des teneurs en eau, etc... Bien que les protocoles ne soient jamais les mêmes, puisqu'adaptés à la réalité locale, il est malgré tout possible de comparer les résultats obtenus et d'en dégager des tendances générales très significatives. Nous ne considérerons ici par simplification, que les essais sur sols sec, avant le début de la saison des pluies.

Une campagne de mesure de simulation de pluies avec le modèle Purdue menée au Mexique (Rivera & Oropeza, 1998) a comparé le comportement d'un même tepetate ayant subi 3 types de traitements différents: 1/ à l'état naturel, 2/ venant d'être préparé pour une mise en culture après un défonçage sur 15 cm de profondeur et 3/ défoncé sur plus de 30 cm de profondeur et cultivé depuis 5 ans. Deux intensités ont été appliquées : la première de 40 mm h⁻¹ puis 60 mm h⁻¹ pendant des durées variables (Tab. 5).

Tab. 5. Caractéristiques du ruissellement et du transport solide sous pluies simulées sur tepetate sec et ayant subi différents traitements (D'après Rivera, P. & Oropeza, JL, 1998).

Traitement des parcelles	Intensité mm.h ⁻¹	Durée mn	Hauteur mm	Lame infiltrée mm	Coef infiltration %	Coef. Ruissellement %	Perte en terre g.mn ⁻¹	Perte en terre t.ha ⁻¹
Tepetate naturel	40	51	34	6,2	18	82	153	13,1
	60	25	25	5,0	20	80	227	19,5
Tepetate venant d'être mis en culture	40	105	70	45,4	65	35	6	0,5
	60	56	56	24,7	44	56	27	2,3
Tepetate cultivé depuis 5 ans	40	45	30	12,9	43	57	63	5,4
	60	30	30	5,8	19	81	273	23,4

En Equateur, la *cangahua* a été testée selon deux protocoles : dans un cas, la *cangahua* est fracturée manuellement, à l'aide de pic alors que dans l'autre, elle l'a été à l'aide d'un bulldozer et est donc similaire aux cas testés au Mexique.

Dans le cas des essais menés par de Noni et al. (1990), chaque expérimentation comporte une série de pluies successives d'intensité croissante : 20, 40, 60 et 80 mm h⁻¹ pendant 20 mn chacune, soit une pluie totale de 67 mm pendant 80 mn. La 2^{ème} pluie est réalisée 2 h après la 1^{ère}, et la 3^{ème} l'est 24 h après la 2^{ème}. Les résultats présentés ici, correspondent aux moyennes de ces 3 pluies.

Tab. 6. Caractéristiques du ruissellement et du transport solide sous pluies simulées sur *cangahua* sèche et ayant subi différents traitements (D'après de Noni et al., 1990).

Pente %	Préparation du sol	Culture	Indice rugosité	Humidité %	Pi mm	Lame ruis. mm	Lame infiltrée mm	Kr %	Sed gr	
4	Très fine	95% < 2cm	Sans	10,1	13,4	19,9	4,5	46,9	10,8	16,5
12	Fine	70% < 2cm	Sans	10,8	13,7	17,5	0,2	67,7	0,3	0,0
16	Fine	70% < 2cm	Maïs	10,6	14,1	14,6	0,9	66,9	1,4	0,0
16	Grossière	50% < 2cm	Sans	11,3	12,0	25,1	1,4	65,4	2,2	0,0
21	Grossière	et	Maïs	12,2	9,2	21,6	0,3	55,9	0,6	0,0
6	Grossière	39% > 5cm	Orge	11,4	13,2	17,1	1,0	55,4	1,9	9,0

Pi : Pluies d'imbibition, Kru : Coefficient de ruissellement utile

Dans le cas des essais menés par Podwojewski et al. (2008), chaque expérimentation comporte une série de pluies successives d'intensité croissante : 20, 40, 60 et 80 mm⁻¹ pendant 15 mn chacune, soit une pluie totale de 50 mm pendant 1h. La 2^{ème} pluie est réalisée 3 h après la 1^{ère}, et la 3^{ème} l'est 8 h après la 2^{ème}.

Tab. 7. Caractéristiques du ruissellement et du transport solide sous pluies simulées sur 1 m² cangahua sèche et ayant subi différents traitements (D'après Podwojewski et al, 2008).

Traitements	Taille des particules	Pi			Kr			Sed		
		-----mm-----			-----%-----			-----gr m-2-----		
		Pluie1	Pluie2	Pluie3	Pluie1	Pluie2	Pluie3	Pluie1	Pluie2	Pluie3
Matières Organiques*	Grossiers	15,2	3,6	3,8	49,5	76,0	82,7	85	96	103
	Fines	17,0	6,0	4,8	41,1	73,0	79,9	107	112	159
Engrais vert**	Grossiers	9,4	2,1	1,9	32,7	54,7	74,4	44	70	80
	Fines	12,6	3,5	3,2	38,7	76,2	83,4	93	118	176
Sans fertilisation minérale	Grossiers	15,2	4,6	4,2	38,5	61,8	76,4	120	142	173
	Fines	15,9	2,7	2,4	37,6	62,3	69,5	62	58	46
Avec fertilisation minérale	Grossiers	23,2	8,7	7,4	19,4	50,4	62,9	36	57	36
	Fines	21,3	8,4	5,8	26,9	54,8	65,0	28	44	49
En friche	Grossiers	22,9	4,9	2,9	21,8	61,0	72,2	457	935	814
	Fines	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Matières Organiques*=40 t ha⁻¹ fumier; **Engrais verts = résidus de cultures+ fertilisation minérale faible
Particules fines <10 cm; Particules grossières 20 cm

De l'ensemble de ces essais, il ressort qu'en situation naturelle où l'horizon induré affleure, les pluies ne peuvent s'infiltrer du fait de sa dureté et de sa compacité. Les pluies ruissellent donc très rapidement, une fois que le très faible microrelief de quelques centimètres de haut, se retrouve saturé. Dans la mesure où ce phénomène apparaît après les premiers millimètres de pluies, cela signifie que plus de 75% des précipitations annuelles vont provoquer un ruissellement, plus ou moins important en fonction de l'intensité et du volume des pluies.

Dans le cas des *tepetates/cangahuas* travaillés, le défonçage crée une très forte porosité lié aux vides formés entre les blocs et fragments de matériaux. Les pluies, même intenses, peuvent alors s'infiltrer immédiatement et profondément. Le macro relief de plusieurs centimètres, voire dizaines de centimètres, diminue considérablement la circulation de l'eau à la surface du nouveau sol.

Toutefois, au fur et à mesure des précipitations, de leurs intensités et du couvert du sol, les *tepetates/cangahuas* cultivés vont progressivement voir des croûtes de battance se former, leur porosité diminuer et leur ruissellement augmenter de façon proportionnelle. L'importance et l'évolution de ces paramètres vont alors dépendre de la résistance à la fragmentation de ces matériaux, du type de travail du sol effectué (à la main, tracteur avec disques...), des apports de matières organiques (compost, fumier, résidus de cultures...), du système de cultures (billons, planches...), de la couverture végétale et des précipitations.

Pour l'érosion et le transport solide, on retrouve les 3 même aspects précédent. A l'état naturel d'affleurement, la dureté et la résistance de ces matériaux font que très peu de sédiments sont arrachés et transportés par l'eau. Leur défonçage et préparation pour leur mise en culture ne changent rien vis-à-vis de l'érosion solide : elle est extrêmement faible. Ce n'est qu'une fois le sol travaillé et cultivé, que les sédiments commencent à être arrachés et transportés par les pluies qui s'infiltreront de moins en moins facilement et qui ruissellent de plus en plus, emportant dans leur élan, les particules instables.

Au final, la mise en culture des *tepetates/cangahuas* revient à gérer le comportement d'un sol limoneux cultivé.

L'impact des cultures sur les processus érosifs des nouveaux sols.

Les données obtenues aux échelles du profil et de la placette sous pluies simulées, ont permis d'orienter des stratégies visant à réhabiliter les *tepetates/cangahuas* de façon à limiter les risques de dégradation de ces nouveaux sols tout en assurant une productivité importante et rapide. Sur ces bases, des essais ont été menés sur des parcelles de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètre carrés, de 470 à 1 800 m², tant au Mexique qu'en Equateur pendant plusieurs années.

Quelle que soit la taille des parcelles testées de 20 m² à près de 2000 m² (Arias et al. 1992; Baumann & Werner, 1997; de Noni et al. 2001, Haulon et al., 2007; Podwojewski et al, 2008; Prat et al., 1997; Reyes, 1987; Rivera & Oropeza, 1997) et une méthodologie qui varie quelque peu, le principe est toujours le même : mesurer le ruissellement et les pertes solides et/ou dissoutes pendant plusieurs années en fonction des paramètres du milieu (pentes, sols, biologie..), des cultures et des pratiques culturales, et ce, après chaque événement pluvieux.



Photos 3a. Parcelles d'érosion (1 000 m² et 100 m²) sur cangahua, Equateur (de Noni 3b. Parcelle d'érosion avec partiteurs sous la pluie, S.M.Tlaixpán, Mexique (Prat, 1993).

Tab. 8. Caractéristiques des traitements des parcelles à S. M. Tlaixpan, Mexique (Prat et al., 1997)

Traitements	Ref.	Surface m ²	Materiaux	Prof* m	Pente %	1993	1994	1995	1996
<i>Tepetate</i> non travaillé	Tep.	1 800	<i>Tepetate</i> état naturel	-	2 à 10	-	-	-	-
Défonçage profond	Prof.	470	<i>Tepetate</i> Défoncé	0.60	4.7	B+V	M+S+b	M+S	B+L
Monoculture	Mono.	775	idem	0.46	3.2	B	M	M	B
Fertilisation organique (+minérale en début de culture)	Orga.	730	idem	0.43	3.4	B+V	M+S+b	M+S	B+L
Préparation fine du sol	Prep.	790	idem	0.44	2.5	B+V	M+S+b	M+S	M+S**
<i>Tepetate</i> cultivé de référence	Ref.	1150	idem	0.40	4.4	B+V	M+S+b	-	-
Idem mais réduction taille parcelle en 1994.	"	735	idem	"	"	-	-	M+S	M+S
Sol (vertic Phaeozem)	Sol	715	Sol en place	0.53	5.9	B+V	M+S+b	M+S	B+L

*Profondeur du défonçage ** Billons croisés,

B. Orge, V: Vesce M: Maïs, b : Haricot S : Fève L: Luzerne (Medicago polymorfa)

Tableau 9. Pertes cumulées de sols (Eros. en $t\ ha^{-1}\ an^{-1}$ en sec) et indice de ruissellement (Kr en %) pour les pluies produisant du ruissellement entre 1993-1996, San Miguel Tlaixpan, Mexique (Prat et al., 1997)

Année	Tep.		Prof.		Mono.		Orga.		Prep.		Réf.		Sol		Culture
	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr	Kr	Eros.	Kr	Eros.	Kr		
1993	9.5	29	4.7	14	2.0	8	1.0	4	0.8	6	0.6	4	0.6	5	Avoine
1994	28.5	49	15.2	31	12.1	33	4.0	17	1.5	14	1.6	14	0.1	1	Maïs
1995	20.9	36	7.5	27	4.2	26	1.5	21	1.0	17	0.3	5	0.0	0	Maïs
1996	17.6	49	10.6	46	8.2	50	1.6	30	0.1*	4*	0.8*	19*	2.6	29	Orge/Maïs
Moyenne 93+96	13.5	40	7.7	34	5.1	33	1.3	16	0.8**	6**	0.6**	4**	1.6	20	Orge
Moyenne 94+95	24.7	43	11.4	29	8.1	30	2.8	18	0.9***	13***	0.9***	14***	0.1	1	Maïs
Moyenne 93 à 96	19.1	42	9.5	31	6.6	31	2.0	17	0.8	11	0.8	11	0.8	12	

* Essais avec maïs et fève; ** Moyenne de 1993; *** Moyenne de 1994 à 1996

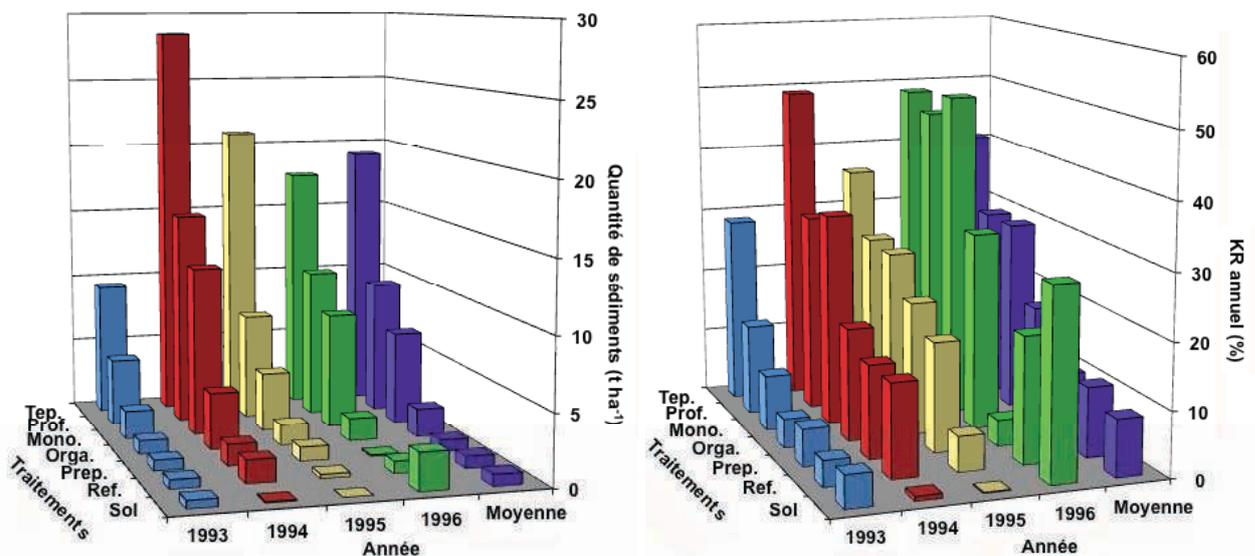


Fig. 2. Pertes annuelles de sol ($t\ ha^{-1}$) et Coefficient de ruissellement moyen (KR) annuel (%) en fonction des traitements testés de 1993 à 1996, S. Miguel Tlaixpán, Mexique (Prat et al. 1997)

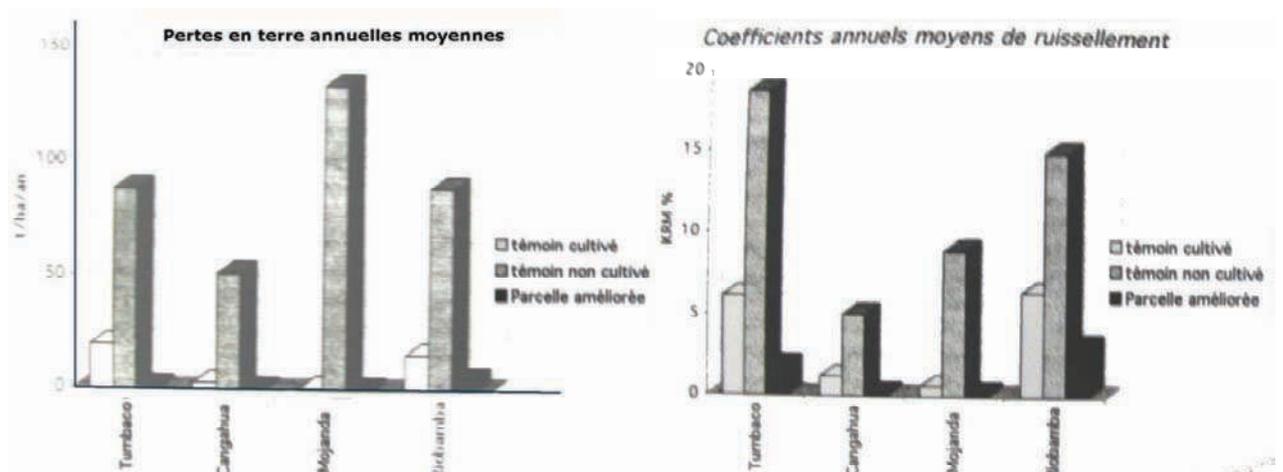


Fig. 3. Pertes cumulées de sols (Eros. en $t\ ha^{-1}\ an^{-1}$) et indice de ruissellement (Kr en %) pour les pluies produisant du ruissellement La Tola, Equateur (de Noni et al., 2001)

Globalement, ces résultats confirment ceux obtenus par les essais de simulation de pluies. Mais il s'en ajoutent également d'autres, tel que le comportement lié à la longueur de pente qui sont apparus au cours de ces essais.

Pour les *tepetates/cangahuas* à l'état naturel, non travaillés, l'infiltration est pratiquement nulle. Mais sous l'effet de la longueur de pente, l'eau de ruissellement se concentre, prend de la vitesse et son énergie lui permet alors d'arracher des particules des matériaux en quantités importantes. En bas de versant cette eau chargée provoque alors une érosion régressive de l'ordre de la dizaine, voire centaine de tonnes/ha. Elle creuse et marque le paysage et entraîne des inondations qui peuvent être catastrophiques car extrêmement rapides et charriant d'énormes volumes d'eau chargée en sédiments.

Le travail du sol, en créant une macro et micro porosité et une rugosité du sol favorise l'infiltration et limite par conséquent le ruissellement et le transport solide. Toutefois, plus le défonçage est profond, et plus le bulldozer va repasser aux mêmes endroits. Avec son poids et les mouvements de la terre, il va écraser les fragments grossiers de *tepetate/cangahuas* ne laissant alors plus qu'un sol fin. Sur ce sol se forment très facilement des croûtes de battance imperméables, il devient donc très fortement érodible. Il faut donc travailler ces matériaux en adaptant profondeur du défonçage, vitesse et nombre de passage de l'engin, à ses caractéristiques mécaniques. A l'inverse, le travail à la main, tel que celui pratiqué en Equateur, maintient une plus forte rugosité du sol, et contribue en cela à générer peu d'érosion. Il a l'inconvénient d'être particulièrement lent et pénible, d'autant que ce sont souvent des femmes qui sont dévolues à ces tâches.

D'un point de vue agronomique, la monoculture traditionnelle sans incorporation de résidus de culture, ce qui est de toute façon impossible la première année de mise en culture de ces matériaux, ne protège pas assez le sol au cours de la saison des pluies, ce qui génère un ruissellement et un transport solide important de plusieurs tonnes à dizaines de tonnes $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$. Dans le cas de cultures en planches (céréales), la surface plane et compactée, les agrégats fins, l'absence de protection sont les facteurs explicatifs de cette situation. Dans le cas du maïs, le phénomène du « steam-flow » le long des cannes de maïs est important et il favorise la rupture des billons au niveau des pieds des plantes. (Lauffer et al. 1997).

Les cultures associées et/ou ayant de fortes doses d'apports organiques et de résidus de culture, protègent beaucoup plus le sol vis à vis des pluies. Le microrelief rugueux et les multiples résidus en interface sol/air limitent la formation de croûtes de battance, favorisant ainsi l'infiltration de la pluie et donc le transport solide (quelques centaines de kilos à quelques tonnes $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$).

Structure et matière organique des nouveaux sols.

Afin de préciser l'impact du travail des *tepetates/cangahuas* sur la stabilité de ces nouveaux sols, deux axes ont été développés en particulier au Mexique. Le premier concerne l'aspect structural et le second porte sur la matière organique.

Le défonçage au bulldozer puis le passage de disques avec un tracteur conduit à briser le tuf induré en morceaux de taille très variable. Sous l'effet de processus biophysico-chimiques, ces fragments vont commencer à s'associer pour créer des agrégats. C'est cet ensemble que l'on qualifie habituellement d'agrégats, or le comportement de fragments est très différent de celui des vrais agrégats d'un point de vue bio-physico-chimique. Dans le premier cas, ils sont très stables physiquement vis à vis de l'eau mais l'absence de liens entre fragments, rend l'ensemble, très fragile en particulier, en cas de ruissellement. De plus, ils ont très peu de réactivité chimique et biologique, ne retiennent pas l'eau et ne servent pas de support aux activités biologiques du sol, contrairement au second. Les tests de stabilités structurales sont à ce titre des indicateurs particulièrement pertinents (Barthes et al., 2000). Ces différences, sont essentiellement dues à la M.O. absente dans un cas et présente dans l'autre (Baéz et al, 2007; Velazquez et al., 2001).

Afin de préciser ces caractéristiques et évolutions, un travail d'enquêtes de terrain avec les paysans couplé à des mesures physico-chimiques sur les sols des parcelles concernées (plus d'une centaine), a permis de dresser une typologie des usages en fonction du temps avec une durée allant de quelques années à parfois près d'un siècle (Baez et al., 2007) (Fig.XX). Pour certains types de gestion des cultures tels que: (a) sans travail du sol, (b) apports fréquents de fumier de bovins, (c) apports fréquents de légumineuses dans la rotation, et (d) substrat à effet de serre, les teneurs en C sont les plus élevées (2 à 4 Mg ha⁻¹ de C). La vitesse de capture du C est extrêmement rapide au cours des 2 ou 3 premières années de mise en culture, puis croit beaucoup plus lentement ensuite. D'autre part, il ressort que la teneur en C organique est d'autant plus importante que la taille des particules est petite. La plus forte accumulation de C a été ainsi trouvée dans des particules <10 mm et plus particulièrement dans la fraction <0,25 mm. Sachant que les *tepetates* sont pratiquement dépourvus de C, on peut en utilisant les systèmes agricoles adéquates, arriver ainsi à un taux d'accumulation de 2,2 à 4,4 Mg ha⁻¹ an⁻¹ de C atmosphérique pour un potentiel de stockage de 88 Mg ha⁻¹ dans les 20 premiers centimètres de sol dont 15% de ce C stabilisé provient de la glomaline¹ (Baez et al, 2010) et ce, dès les 2 ou 3 premières années de mise en culture.

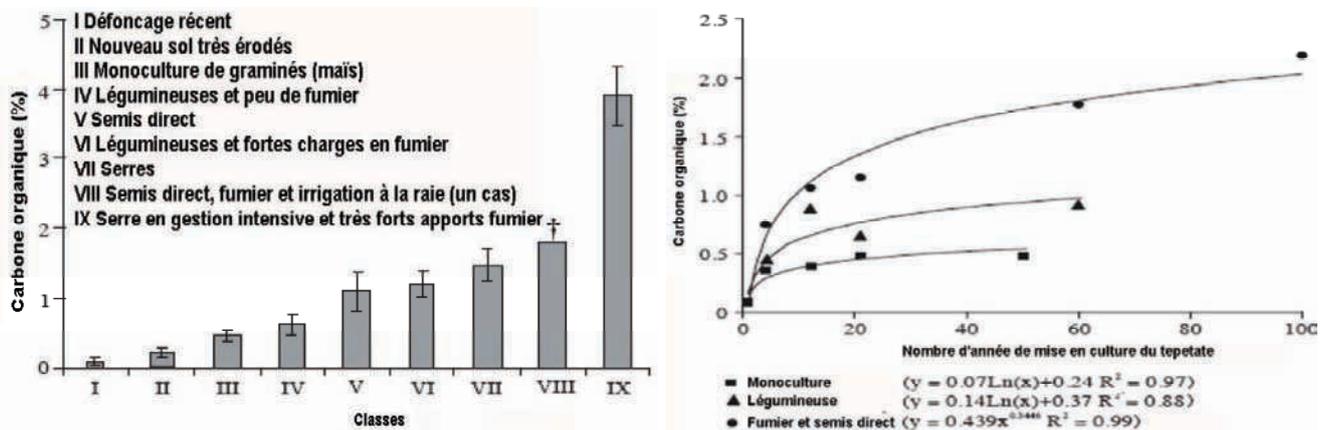


Fig. 4. Teneur en C organique (%) en fonction des types de cultures et des années de culture (Baez et al., 2007)

La proportion entre fragments et agrégats, s'inverse en fonction du temps et des apports en carbone. Là encore, la cinétique est extrêmement rapide les premières années de mise en culture pour être beaucoup plus lente ensuite (Fig. 5)

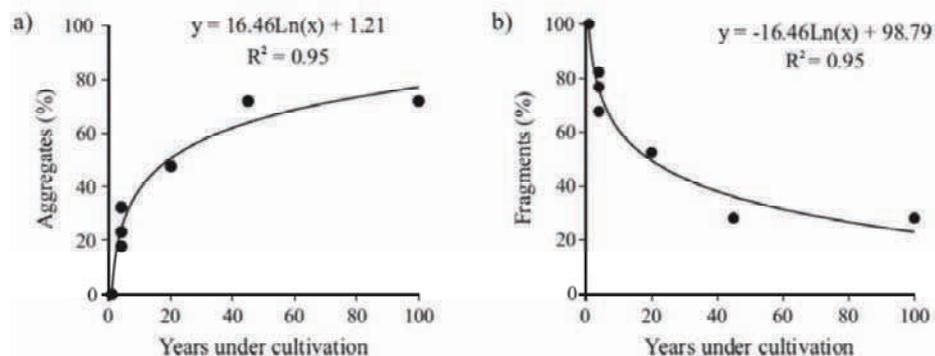


Fig. 5. Evolution de la proportion d'agrégats (a) et de fragments (b) ≥3,36 mm dans un tepetate mis en culture en fonction du temps (Baez et al., 2007)

Bien que ce type d'étude n'ait pas encore été menée avec les *cangahuas*, on peut supposer que les résultats seraient les mêmes puisque ces tufs volcaniques ont la même origine que les *tepetates* et sont donc tout autant dépourvus de carbone.

¹ Glycoprotéine produite par les hyphes de mycorhizes arbusculaires (González-Chávez *et al.*, 2004; Wright y Upadhyaya, 1996) et jouant un rôle protecteur dans la protection et la stabilité des agrégats du sol

Coûts de mise en culture.

La conversion des *tepetates/canguahas* en terres agricoles productives a un coût élevé si l'on respecte les recommandations issues de nos travaux.

Le coût principal concerne l'utilisation d'un bulldozer suffisamment puissant pour défoncer ces matériaux (double passage, le premier perpendiculaire au second) et effectuer le terrassement. Cela implique de transporter l'engin à destination, de couvrir les frais de main d'œuvre, de combustibles (huile et gazoil) et d'usure. Les travaux devant se faire à vitesse réduite, ce temps a également un prix. Il faut ensuite avoir un tracteur avec des disques qui convertira les gros blocs en fragments. Plus qu'avec le bulldozer, il est fondamental que le passage du tracteur se fasse à une vitesse réduite afin de ne pas créer de la poussière au lieu de fragments. Dans la situation idéale, il faudra prévoir d'apporter et d'appliquer du fumier ou du compost. Dans tous les cas, une fertilisation minérale raisonnée, dont la dose annuelle sera divisée et appliquée en 2 ou 3 fois.



Photos 4a et 4b. Défonçage au bulldozer muni de 3 dents du *tepetate*, S.M. Tlaixpán, Mexique (Prat).



Photos 4c et 4d. Tracteur avec disques. Profil de sol après 6 mois (Maïs) S.M. Tlaixpán, Mexique (Prat)



Photos 4e et 4d. Epandage du fumier de bovin sur le *tepetate* venant d'être travaillé et production agricole après 4 mois de culture (amarante, vesce, maïs, orge) S.M. Tlaixpán, Mexique (Prat).



Photos 4f et 4g. Production agricole après 5 mois de mises en culture (orge). Formation de croûte de battance après les premières pluies tombées sur sol sec et nu (Fève/maïs/haricot) en 2^e année de mise en culture du *tepetate* travaillé S.M. Tlaxpán, Mexique (Prat).

En Equateur, un nouveau programme de mise en culture des *cangahuas* qui couvrira 60 000 ha, vient d'être lancé en 2011. Avec un bulldozer type Caterpillar D6 équipé de 3 dents qui défoncent ces matériaux à environ 40 cm de profondeur, il faut compter 8 h jour⁻¹ ha⁻¹ en moyenne pour effectuer le travail. En location dans le secteur privé cela représente une somme d'environ 400 € ha⁻¹ (contre 600 € ha⁻¹ au Mexique). Il faut encore rajouter la location d'un tracteur (15 € h⁻¹). Il faut environ 4 h pour effectuer 2 passages croisés avec un rotavateur et 2 autres avec une herse et une charrue, soit 60 € ha⁻¹. Le coût total tourne donc autour de 600 € ha⁻¹ en Equateur et de 800 € ha⁻¹ au Mexique.

Ces chiffres sont à comparer avec le coût de ce même travail fait entièrement à la main : Il faut 100 personnes pour défoncer 1 ha de *canguahua* jour⁻¹. Avec un salaire (2011) d'environ 10 € jour⁻¹ en Equateur (13 € jour⁻¹ au Mexique), le coût en personnel s'élève donc à 1000 € jour⁻¹ ha⁻¹ dans ce pays contre 1300 € jour⁻¹ au Mexique. Il faut en plus rajouter les 60 € ha⁻¹ pour la préparation finale du sol. Au final, le coût de mise en culture de ces matériaux indurés à la main est beaucoup plus élevé qu'avec un bulldozer. Reste que ce travail extrêmement pénible, peut aussi être une source de revenus pour les communautés les plus pauvres et marginalisées. L'idéal en fait, est d'associer travail mécanique et travail manuel.

Indépendamment des coûts liés aux cultures (graines, engrais, etc...) qui s'ajoutent chaque année, la production espérée en culture pluviale est de 2 à 3 t ha⁻¹ de maïs et autant pour l'orge ou le blé. Au Mexique, cela revient à recevoir 360 à 540 € ha⁻¹ pour le maïs et de 480 à 720 € ha⁻¹ pour l'orge (prix mai 2011). On voit immédiatement que la mise en culture de ces *tepetates/canguahas* n'est pas rentable à cours et moyen termes. Dans le cas de cultures à très fortes valeurs ajoutées (arbres fruitiers, magueys/agaves...), il faut attendre entre 5 et 12 ans avant de pouvoir commencer à récolter les fruits de ces travaux. Cette immobilisation de capital, est incompatible avec les ressources dont peuvent disposer les petits paysans de l'altiplano. Ainsi, dans tous les cas, une aide extérieure est indispensable si l'on veut convertir en champs ces matériaux.

En conclusions, il est possible de convertir des tufs volcaniques indurés, imperméables et stériles en des sols productifs, absorbant l'eau et peu érodables si un certain nombre de règles et de précautions sont suivis

Les *tepetates/canguahas* sont des tufs volcaniques indurés qui sous l'effet de l'érosion peuvent affleurer. Leur compacité, leur pauvreté physicochimique, la quasi absence de C et de N, empêchent pratiquement le développement de la végétation, même à l'état naturel. Les surfaces affleurantes étant imperméables, elles génèrent de grands volumes d'eau lors du moindre évènement pluvieux. Cette eau, peut alors se révéler dévastatrice en aval, tant sur le milieu que par les dégâts qu'elle peut occasionner sur les habitats situés en bas de pente et en aval de ces milieux montagneux.

Pour éviter ces inondations, destructions et érosion des sols, on peut envisager une mise en culture de ces matériaux, que ce soit de façon manuelle ou mécanique. De plus, la pression anthropique sur ces terres, qui d'ailleurs constituent bien souvent la dernière «frontière agricole interne» des communautés rurales, sont telles que de toute façon, les paysans les mettent en culture. Cette conjonction d'intérêts environnementaux, sociaux et économiques font qu'il y a une pression importante sur ces terres marginales et qu'il est d'autant plus important de suivre quelques précautions pour que ces habilitations agricoles se fassent dans les meilleures conditions possibles.

Il est indispensable, au moment du défonçage, de limiter le travail des *tepetates/canguahas* afin de ne pas créer un sol de granulométrie trop fine, qui serait alors particulièrement susceptible d'être érodé à la première pluie venue et de favoriser au maximum la formation de petits fragments de quelques centimètres. D'autre part, afin de protéger ces derniers, il est indispensable de protéger la surface du sol par un mulch. Enfin, afin de créer de nouveaux agrégats il faut incorporer de fortes doses (minimum $10 \text{ t h}^{-1} \text{ an}^{-1}$) de matières organiques. Il est préférable d'utiliser du fumier ou du compost, car les matières organiques étant déjà stabilisées, elles permettront une association immédiate avec le support minéral. A défaut, l'incorporation de résidus de culture en fin de cycle, restera une opération indispensable et devra être renouvelée chaque année. On créera ainsi en quelques années, une structure grumeleuse fine résistante aux pluies et sources de nutriments pour les plantes.

Ces nouveaux sols, devront alors être gérés comme des sols à textures limoneuses, c'est à dire se compactant facilement sous l'effet du poids des machines et se destructurant relativement vite sous l'effet de l'énergie des gouttes d'eau. Une couverture morte (mulch) ou vive est donc indispensable pour protéger ces sols, en particulier en début de saison des pluies quand les sols sont dépourvus de végétation et/ou qu'ils viennent d'être travaillés. Une couverture au minimum de 30% du sol permet de réduire drastiquement l'érosion. Le labour minimum est aussi une option souhaitable car il laisse une bonne protection sur le sol et maintient une bonne porosité biologique.

Les *tepetates/canguahas* étant des roches et non des sols, ils sont pratiquement dépourvus de matières organiques telles que le carbone et l'azote. Ce sont donc des matériaux stériles qui, une fois mis en culture, doivent être approvisionnés en éléments nutritifs immédiatement si l'on veut obtenir des rendements agronomiques acceptables pour les paysans qui vont travailler ces nouvelles terres. Lors du premier semis, il est donc difficile de ne pas utiliser des engrais minéraux. Ceux ci doivent être associés à des apports de fertilisation organique sous forme d'apports de fumier, d'engrais vert, de compost etc... dans ces conditions, et si l'on n'utilise pas le maïs les 2 premières années, toutes les autres cultures aboutissent à des rendements dépassant la moyenne régionale dès la première année de mise en culture.

Reste que le coût des investissements et celui des bénéfices obtenus par la vente des récoltes de cultures vivrières reste très en de ça d'un bilan économique positif à moyen terme. Même dans le cas de cultures plus rentables, telles qu'arbres fruitiers, agave pour la production de Mezcal ou de produits pharmaceutiques, il faut plusieurs années avant de pouvoir compter sur un retour d'investissement. Il est donc indispensable qu'une partie des travaux soient pris en charge économiquement par l'état, d'autant que celui ci peut récupérer, via la taxe carbone, des financements internationaux. En effet, les *tepetates/canguahas* constituent des pièges à carbone particulièrement efficaces en terme de taux de séquestration puisque l'on passe de près de 0% à 3-4% en quelques années seulement ! De plus, au delà de l'agriculture, il est possible de reforester ces zones en général dénudées, et donc, là encore, capturer du carbone sous forme de bois. Dans le cadre du réchauffement climatique global, l'habilitation agro-forestière constitue donc des atouts importants qui doivent faire partie des négociations sur ce sujet.

D'autre part, la mise en culture de façon adéquate des *tepetates/canguahas* affleurant va permettre une nouvelle régulation du cycle de l'eau dans ces régions. Grâce à l'infiltration créée dans ces nouveaux sols, les nappes phréatiques vont pouvoir mieux se recharger. Les inondations en aval générées par les eaux qui ne pouvaient pas s'infiltrer dans ces matériaux imperméables à l'état naturel, vont avoir leur nombre diminuer drastiquement. On aboutit ainsi à une mise en protection des biens et des personnes, des améliorations et des économies pour les communautés rurales concernées. Tout ceci représente aussi des coûts qui devraient être pris en considération par les autorités locales et transférés pour financer en partie ou entièrement, des programmes de création de ces nouveaux sols.

La mise en culture des tufs volcaniques indurés et stériles que sont les *tepetates/canguahas*, est possible, relativement facile, productive et durable si l'on suit les quelques règles simples énoncées précédemment. Mais, bien au de là d'un enjeu purement agronomique, la conversion de ces tufs en sols limoneux génèrent une série de bénéfices tant sociaux, qu'économiques et environnementaux depuis l'échelle d'une famille jusqu'à celle de communautés rurales et urbaines. Les états latino-américains concernés devraient donc développer des programmes visant à mettre en culture ces matériaux en apportant des appuis financiers et techniques aux petits paysans, tout en se faisant rembourser ces travaux par des fonds liés au crédit carbone mis en place dans le cadre de la réduction du réchauffement global et par les sommes économisées liées aux destructions évitées.

Bibliographie

- Alcalá, M. y J. L. Oropeza M., 1998. Potencial hidrológico y la producción de sedimentos de un tepetate de la cuenca del río Los sauces, Michoacán. In: Navarro Garza, Poupon, Pérez Olivera (Eds), Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (tepetates). ORSTOM-CP, Mexico, pp. 145-148.
- Aliphat Fernández, M. & G. Werner, 1994. The tepetate of the central Mexican highlands: prehispanic and modern impact of agriculture and water management. In: 15th world congress of soil science. 2e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos Transactions Commission V: symposia ID 13. Indurated volcanic soils: use and management (Ed.: Etchevers, Aguilar, Núñez, Alcántar, Sánchez), Acapulco, México, 12-16/07/94. AISSS, INEGI, CNA, pp. 528-540.
- Arias Rojo, H. M., M.-E. Miranda M. y D. Gabriels, 1992. Dinámica de la erosión en tepetates roturados. In: 1ero Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexico, oct 1991, Terra Vol 10 N°sp, 370-373.
- Barthès, B., A. Azontondé, Z. Boli, C. Prat and E. Roose, 2000. Field-scale runoff and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). European Journal of Soil Science, Vol 51(3): 485-495.
- Báez Pérez, A., J. D. Etchevers Barra, C. Prat, A. Márquez Ramos y E. Ascencio Zapata, 2007. Manejo agronómico de los tepetates del eje neovolcánico de México. In: Gallardo L., J. F. (Editor), Captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos. Red POCAIBA y Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca, España, pp. 69-84.
- Báez Pérez, A., J. D. Etchevers Barra, C. Prat and C. Hidalgo Moreno, 2007. Formation of aggregates and carbon sequestration in ameliorated tepetates in the Río Texcoco basin, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol 24 (3): 487-497.
- Báez-Pérez, A., M. C. Á. González-Chávez, J. D. Etchevers-Barra, C. Prat y C. Hidalgo-Moreno, 2010. Glomalina y secuestro de carbono en tepetates cultivados / Glomalin and carbon sequestration in cultivated tepetates. Agrocienza, Vol 44 : 517-529.
- Baumann, J. & Werner, G., 1997, Erodibility of volcanic ash soils in the Central Mexican Highlands, in Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos, Quito, Dec. 1996: Quito, Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 343-350.
- Bice, D. C., 1985. Quaternary volcanic stratigraphy of Managua, Nicaragua: correlation and source assignment for multiple overlapping plinian deposit. Geol. Soc. Am. Abstracts, Vol 96: 553-566.
- Campos, A. & D. Dubroeuq, 1990. Formación de tepetates en suelos volcánicos. Terra, Vol 8: 137-147.

- Cangás, J. & G. Trujillo, 1997. Experiencia de recuperación de cangahua en la provincia del Carchi (Ecuador). *in* Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos, Quito, Dec. 1996: Quito, Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 501-505.
- Casanova P., M., O. Seguel S. y W. Luzio L., 2009. Suelos de Chile. Fac. Ciencias Agronómicas, U. de Chile, Santiago de Chile, 367 pp.
- Casenave, A. & C. Valentin, 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Collection didactiques. ORSTOM, Paris, 230 pp.
- Colmet-Daage, F., 1967. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques: 1ere partie. Cah. Orstom, sér. pédologie, Vol 5 (1): 3-38.
- Custode, E., G. De Noni, G. Trujillo y M. Viennot, 1992. La cangahua en el Ecuador: caracterización morfoedafológica y comportamiento frente a la erosión. In: 1e Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N°sp., 332 -346.
- Delgadillo Piñon, M. E., M. E. Miranda Martinez y B. R. Ruiz Hernandez, 1989. Evaluación de seis formas de roturación de tepetate amarillo para incorporarlo a la producción en el oriente de la cuenca de México. Ingeniero agrícola Thesis, UACH, Chapingo, Edomex, 194 pp.
- de Noni, G., P. Pourrut et M. Viennot, 1990. Mesures de l'érosion dans les Andes de l'Equateur. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, Vol 25 (1-2): 183-197.
- de Noni, G., J.-L. Janeau, C. Prat, G. Trujillo et M. Viennot, 1994. Hydrodynamique, érodibilité et conservation des sols volcaniques indurés d'Amérique Latine (Equateur, Mexique, et Nicaragua): impact du matériau originel et effet de la réhabilitation agricole. In: 15th world congress of soil science. 2e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos, Transactions Commission V: symposia ID 13. Indurated volcanic soils: use and management (Ed.: Etchevers, Aguilar, Núñez, Alcántar, Sánchez), Acapulco, México, 12-16/07/94. AISSS, INEGI, CNA, 554-570.
- de Noni, G. et M. Viennot, 1997. Evaluation spatiale et multi-temporelle de la cangahua à partir d'images SPOT. *In*: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos, Quito, Dec. 1996: Quito, Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 138-148.
- de Noni, G., C. Prat, P. Quantin, M. Viennot et C. Zebrowski, 2000. Erosion et conservation après récupération des sols volcaniques indurés de l'Equateur et du Mexique. EGS, Vol 7(1): 25-36.
- de Noni, G., M. Viennot, J. Asseline et G. Trujillo, 2001. Terres d'altitudes, terres de risques. La lutte contre l'érosion dans les Andes équatoriennes. Latitudes 23. IRD, Paris, France, 220 pp.
- Etchevers Barra, J. D., R. López, C. Zebrowski y D. Peña, 1992. Características químicas de tepetates de referencias de los estados de México y de Tlaxcala, México. In: 1° Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N°sp, 171 -177.
- Etchevers Barra, J. D., M. A. Pérez Olivera, H. Brito V., M. Vargas I. y U. López N., 1998. La fertilidad de los tepetates del eje neovolcánico en los estados de México y Tlaxcala. In: Navarro Garza, Poupon, Pérez Olivera (Eds), Aptitud productiva en suelos volcánicos endurecidos (tepetates). ORSTOM-CP, Mexico, 17-36.
- Faivre, P. et S. Gaviria, 1992. Suelos y formaciones piroclásticas endurecidas en los Andes de Colombia. In: 1° Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias y Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N°sp, 89 -99.
- FAO/EC/ISRIC, 2003. World soil resources. Roma, Italy.
- Fedoroff, N., C. M.A., L. A. and K. Oleschko, 1994. Calcitic accretion on indurated volcanic materials (example of tepetates, altiplano, Mexico). In: XV Congreso mundial de ciencias del suelo, Acapulco, México, 12-16 de julio de 1994. 460-473.
- Ferrera-Cerrato, R., 1992. Papel de los microorganismos en la recuperación de suelos marginados. In: 1e Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N°sp., 408 -418.
- Gondard, P. y H. Mazurek, 2001. 30 años de reformas agrarias y de colonización en Ecuador, Dinámicas territoriales: Ecuador, Bolivia, Perú, Venezuela. Estudios de geografía. CGE, CEN, IRD, PUCE, Quito, Ecuador, pp. 15-40.
- Haulon, M., G. Werner, G. Flores García, A. Vera Reyes and P. Felix-Henningsen, 2007. Assessment of erosion rates during rehabilitation of hardened volcanic soils (tepetates) in Tlaxcala. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol 5(3): 498-509.
- Hidalgo M., C., F. Elsass, P. Quantin et M. Thiry, 1999. Nanoorganisation des argiles et des formes de silice dans des tepetates de type fragipan. In: Structure et ultrastructure des sols et des organismes vivants (Ed.: Elsass, F. et Jaunet, A. M.s), Versailles, France, 20-21/11/97. INRA pp. 121-135.

- IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Jongmans, A. G., L. Denaix, F. van Oort and A. Nieuwenhuys, 2000. Induration of C horizons by allophane and imogolite in Costa Rica volcanic soils. *Soil Science Society of America Journal*, Vol 64: 254-262.
- Lauffer, M., Y. Leroux, C. Prat y J.-L. Janeau, 1997. Organización superficial de los tepetates cultivados (Texcoco, México). *In: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos*, Quito, Dec. 1996: Quito, Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 443-456.
- Leroux, Y. y J.-L. Janeau, 1997. Caracterización hidrodinámica de un suelo volcánico endurecido del Ecuador (cangahua), influencia de los estados de superficie. *In: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos*, Quito, Dec. 1996. Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 430-442.
- Navarro Garza, H. & C. Zebrowski, 1992. Análisis agronómico comparativo en tepetates. *In: 1^o Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos* (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias y Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N^osp, 451 -459.
- Navarro Garza, H. y C. Prat, 1996. Habilitación agrícola de los tepetates (suelos volcánicos endurecidos y estériles) de los valles de México y de Tlaxcala. *In: Bovin, P. (Editor), El campo mexicano: una modernización a marchas forzadas. Economía. CEMCA-ORSTOM, Mexico*, pp. 253-291.
- Nimlos, T. J. y C. Zamora J., 1992. Los suelos endurecidos de Perú. *In: 1^o Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos* (Ed.:Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda) Mexique, oct 1991, Terra Vol10 N^osp. 283 -289.
- Peña, D. & C. Zebrowski, 1992. Estudio de los suelos volcánicos endurecidos (tepetates) de las cuencas de Mexico y Tlaxcala (Mexico) - Informe del mapa morfopedológico de la vertiente occidental de la Sierra Nevada y anexos : 1. Mapas temáticos; 2. Descripción de perfiles; 3. Resultados de análisis-. Informe final. ORSTOM-Paris, CP-Montecillo, J. Liebig Universitat-Giessen, UAT-Tlaxcala, 98 pp.
- Pimentel Bribiesca, L., 1992. Como hacer productivos a los tepetates en México. *In: 1^o Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos* (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias y Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N^osp, 293 -301.
- Podwojewski, P. & N. Germain, 2005. Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua) in Ecuador. *European Journal of Soil Science*, Vol 39, 39-51.
- Podwojewski, P., J.-L. Janeau and Y. Leroux, 2008. Effects of agricultural practices on the hydrodynamics of a deep tilled hardened volcanic ash-soil (Cangahua) in Ecuador. *Catena*, Vol 72, 179-190.
- Prat, C., A. Báez Pérez y A. Márquez Ramos, 1997. Erosión y escurrimiento en parcelas de tepetates t3, Texcoco, Mexico. *In: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos*, Quito, Dec. 1996: Quito, Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 371-383.
- Prat, C. & P. Quantin, 1992. Origen y génesis del talpetate, horizonte volcánico endurecido de los suelos volcánicos de la región Centro Pacífico de Nicaragua. *In: 1e Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos* (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N^osp, 267 -282.
- Prat, C. & P. Quantin, 1994. The talpetate of the Central-Pacific region of Nicaragua: a palagonitized tuff from the Masaya volcano. *In: 15th World Congress of Soil Science, 10-16/07/94, Acapulco, Mexico, ISSS, International Soil Science Society and Mexican Society of Soil Science*. 497-506.
- Prat, C., B.-T. Ly, I. Lepigeon, G. Faugère y J.L. Alexandre, 1997. Los sistemas agropecuarios de producción en tepetates, en cuatro comunidades del altiplano mexicano. *In: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos*, Quito, Dec. 1996. Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 482-491.
- Prat, C., 1997. Análisis de las características de las precipitaciones de 1992 a 1995 en el área experimental de San Miguel Tlaixpán (Texcoco, Mexico). *In: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. Suelos volcánicos endurecidos*, Quito, Dec. 1996: Quito, Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 359-370.
- Quantin, P., C. Zebrowski, M. Delaune y C. Hidalgo, 1992. El material original de los tepetates t2 y t3 de la región de Texcoco (México): ¿Loess o volcanic ash tuff? *In: 1^o Symp. int. Suelos volcánicos endurecidos* (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N^osp, 178 -182.
- Quantin, P., H. Arias, J. D. Etchevers, R. Ferrera, K. Oleschko, H. Navarro, G. Werner y C. Zebrowski, 1993. Tepetates de México: caracterización y habilitación para la agricultura (Informe científico final del proyecto: NTS2-A-212-C CEE/ORSTOM. Terra Vol 11, N^o espec., 72 pp.
- Quantin, P., 1997. Régénération et conservation des sols volcaniques indurés et stériles d'Amérique latine (Chili, Equateur, Mexique). Rapport scientifique final. Contrat UE/ORSTOM-U.J.L. Giessen n^o TS3*CT 930252, pp. 178.

- Rey Contreras, J. A., 1987. Estimación de la erodibilidad de los tepetates en la cuenca del río Texcoco en base al factor K. In: Ruiz Figueroa, J. F. (Editor), *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. UACH, Mexico, Chapingo, Mexico, pp. 78-84.
- Rivera R., P. & J. L. Oropeza M., 1997. Evaluación del potencial hidrológico y de la producción de sedimentos en tepetates tipo t3 con lluvia simulada. In: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3e symp. int. *Suelos volcánicos endurecidos*, Quito, Dec. 1996. Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 412-419.
- Roose, E., 1977. Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Travaux et Documents ORSTOM n°78*, ORSTOM, Paris, 108 pp.
- Sánchez Juárez, M., J. F. Ruíz Figueroa et E. Cautle Fabián, 1987. Comportamiento de dos tipos de tepetates bajo la adición de abonos orgánicos y abonos verdes en condiciones de invernadero. In: Ruiz Figueroa, J. F. (Editor), *Uso y manejo de los tepetates para el desarrollo rural*. UACH, Mexico, Chapingo, Mexico, pp. 78-84.
- Sedov, S., E. Solleiro Rebolledo and J. Gama Castro, 2003. Andosol to Luvisol evolution in central Mexico: timing, mechanisms and environmental setting. *Catena*, Vol 54 (3): 495-513.
- Servenay, A. & C. Prat, 2003. Erosion extension of indurated volcanic soils of Mexico by aerial photographs and remote sensing analysis. *Geoderma*, Vol:(3-4): 367-375.
- Siméon, R., 1887. *Diccionario de la lengua Nahuatl o mexicana*. Siglo XXI, México, D.F.
- USDA-NRCS, 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, Eleventh Edition. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., USA, 347 pp.
- Velázquez Rodríguez, A., D. Flores Román y O. Acevedo Sandoval, 2001. Formación de agregados en tepetate por influencia de especies vegetales/Aggregate formation in tepetate by effect of plant species. *Agrociencia*, Vol 35 (3): 311-320.
- Werner, G., G. Miehlisch, A. Lückoff und W. Moll, 1988. *Die böden des staates Tlaxcala im zentralen hochland von Mexiko. Untersuchungen über ihre entwicklung, verbreitung, erosion und nutzung unter dem einfluss 3000-Jährigen ackerbaus*, Stuttgart, Germany, 198 pp.
- Williams, B. J., 1992. Tepetate in 16th century and contemporary folk terminology valley of Mexico. In: 1^o Symp. int. *Suelos volcánicos endurecidos* (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N°sp, 355-369.
- Winckell, A. & C. Zebrowski, 1992. La cangahua en Equateur : le contexte paléo-géographique de sa formation. In: 1^o Symp. int. *Suelos volcánicos endurecidos* (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N°sp, 107-112.
- Zebrowski, C., 1992. Los suelos endurecidos en America Latina. In : 1^o Symp. int. *Suelos volcánicos endurecidos*, (Ed.: Zebrowski, Prat, Etchevers, Arias, Miranda), Mexique, oct 1991, Terra Vol 10 N° sp, Vol: 15-23.
- Zebrowski, C., 1997. Los suelos con cangahua en el Ecuador. In: Zebrowski, Quantin, Trujillo, (eds.), 3^o symp. int. *Suelos volcánicos endurecidos*, Quito, Dec. 1996. Ecuador, UE, ORSTOM, PUCE, UCE, 128-137.

Les techniques de cultures en terrasse dans les monts Mandara, Extrême Nord Cameroun

Wakponou Anselme, Monique Mainguet et Frédéric Dumay

Courriel : frederic.dumay@univ-reims.fr; moniquemainguet@orange.fr; wakponouanselme@yahoo.fr

Résumé

Dans l'Extrême-Nord-Cameroun, les nombreuses populations des monts Mandara avaient conscience, lors de leur installation, du caractère difficile de leur milieu : difficultés climatiques, édaphiques et topographiques. Ces conditions se détériorent avec les changements climatiques marqués surtout par un assèchement généralisé et la pression croissante de la population sur des ressources très limitées. De plus les stratégies séculaires de survie ont à peine évolué et se limitent à la réalisation de terrasses de pierres sèches et de techniques associées telles que l'alignement simple de pierres, le paillage, l'élevage en case et le fumier, l'agroforesterie sur les pentes les moins fortes et le contrôle du ruissellement par l'association des cultures et, dans une moindre mesure, le labour profond sur les replats et dans les vallées.

L'objectif de notre communication est d'établir un inventaire des techniques de gestion des sols et de faire ressortir leur niveau d'efficacité : on a montré que la grande difficulté de ces milieux est avant tout le décalage entre la pression démographique et la ressource. Les résultats de nos travaux sont étayés par des observations et des enquêtes de terrain effectuées sur plus de deux décennies et dans le cadre du programme de recherche AUF P2 – 2092RRR521 du réseau érosion de l'AUF

Mots clés : Extrême-Nord-Cameroun, conservation des sols, développement, eau, stratégies traditionnelles, pression démographique

Abstract

In the Extreme Northern Cameroon, physical, pedological, hydrological and topographical conditions are difficult but numerous populations found a protection against the Muslims coming from the peulh emirate of SOKOTO (NE of present Nigeria) in 1904. The mountains were covered by lithosols and dry forest before the populations built terraces quite everywhere, associated with agroforestry, stone lines, breeding, manuring, mulching or deep plowing in the flat areas. This paper wants to describe the terracing system, to analyze their efficiency and to show the difficulties to nourish the increasing population in this difficult semi-arid environment.

The study is a synthesis of more than 20 years observations & inquiries on the fields.

Keywords: Northern Cameroon, Soil and water conservation, traditional techniques, efficiency of terracing, demographic pressure

Introduction

Dans le Nord Cameroun où toutes les populations sont confrontées à un déficit chronique en eau, c'est probablement dans les monts Mandara, que le problème de sa gestion conservatoire se pose avec le plus d'acuité en raison des contraintes climatiques, topographiques et édaphiques.

Conscientes de leur environnement difficile, les populations (Mandara, Mafa, Mofou, Kapsiki, Hina, Goudé, Daba et Njegn...) ont mis sur pied une technique séculaire de cultures en terrasses de pierres sèches, pour lutter contre les effets du ruissellement et assurer la rétention et l'infiltration des eaux de surface.

En prise à une démographie croissante et à l'accentuation des besoins alimentaires, la pression sur les ressources est de plus en plus élevée et compte tenu des travaux nécessaires à l'aménagement de nouvelles parcelles des tensions se font jour.

D'après les travaux de terrain, la description des dispositifs antiérosifs et des enquêtes conduites auprès des populations locales, notre communication a pour objectif d'analyser l'efficacité des terrasses dans ce milieu montagnard très peuplé où le paysan est conscient que la dégradation des sols entraîne une baisse des rendements agricoles et c'est pourquoi il lutte inlassablement en remontant la terre sur les terrasses. Il s'agit dans ce travail de voir les effets de la technique des terrasses sur la productivité du sol avant de montrer qu'elle reste somme toute insuffisantes et requiert des mesures complémentaires.

I. Les monts Mandara et leurs contraintes physiques pour les activités rurales

Les monts Mandara forment un massif cristallin et cristallophyllien profondément disséqué qui s'allonge sur 150 km selon un axe N - S entre N 9° 45' et N 11° à la frontière camerouno-nigériane et au Cameroun en direction de l'Est sur une largeur de 50 km. Ils dominent la cuvette de la Bénoué au Sud et celle du Tchad constituées de plaines à l'Est et au Nord par une dénivellation de 300 à 500 m. Individualisées depuis la dislocation du continent de Gondwana au Crétacé, ces montagnes appartiennent au vieux socle camerounais plissé, métamorphisé, granitisé pendant les orogénèses précambriennes. Dans l'ensemble ils comportent 2 types de paysages géomorphologiques : les bourrelets montagneux et les plateaux intramontagneux.

Les bourrelets montagneux sont divisés en trois unités :

- L'ensemble des massifs Mandja-Téléki-Ourom disposé en arc de cercle au S-E et au Sud surplombe les plateaux intérieurs par une pente de 18°. D'une altitude moyenne de 900 m, cet ensemble incliné S-E (0° 9) est découpé en crêtes rocheuses surmontées de collines aux versants linéaires à pente moyenne de 9°. Ces collines sont séparées par des vallées parallèles orientées NO-SE, taillées dans une mince pellicule d'arène.
- Les monts Matakam, aux versants à fortes pentes (27 à 30°), forment un gigantesque fer à cheval autour du pédiment de Koza. Ils se caractérisent par leur aspect massif et leurs hauts sommets dont le mont Oupay 1494 m, qui constitue le point culminant des monts Mandara.

- Le bourrelet montagneux de la bordure orientale s'allonge de façon continue de Mofou à Mora. D'une altitude moyenne de 950 m, ce bourrelet a des versants à fortes pentes (24°) surplombant les plateaux intramontagneux et le piémont (Boutrais, 1984).

Les plateaux intramontagneux sont à une altitude moyenne de 840 m avec une pente moyenne de 1°79. (tableau I, figure 1).

Tableau I. Les caractéristiques dimensionnelles de plateaux intérieurs dans les monts Mandara

Plateau de	N° sur le trait de coupe	Altitude moyenne (m)	Pente moyenne (°)	Roches affleurantes et / ou subaffleurantes
Mabourki	1	900	6	Granites d'anatexie, anatexites et granites calco-alcalins porphyroïdes
Bourrah	2	800	4	Granites à biotite
Kapsiki	3	950	4	Anatexites et granites d'anatexie
Mokolo	4	800	2	Granites d'anatexie et anatexites
Roua	5	750	2	Granites calco-alcalin à biotite
Moyenne	-	840	3,6	-

Dans l'ensemble, les fortes pentes et les affleurements rocheux constituent les premières contraintes pour la mise en valeur de monts Mandara. Même si la fourniture abondante de matériaux rocheux permet de lutter efficacement contre l'érosion, les cailloux de surface, si gênant soient-ils pour les travaux agricoles, assurent une protection contre l'érosion en nappe et l'effet de splash (Humbel et Barbery, 1974). C'est à ces contraintes que sont liés les reliefs squelettiques susceptibles d'être érodés facilement du fait du caractère torrentiel des eaux de ruissellement et de la gravité. Les versants rocheux sont nus dans leur moitié supérieure et couverts à leur base de gros blocs et /ou d'un lithosol mince (2 cm) alors que dans les aires à topographie plus ou moins calme une pellicule détritique altérée voile un substratum sub-affleurant. Sur les petits replats larges d'une dizaine de mètres et sur les plateaux intramontagnards où les arènes forment une couverture colluviale autour des pointements rocheux, les faibles pentes inférieures à 4°, le socle cristallin alimente l'horizon d'altération en matériau grossier de taille centimétrique. Epaisse sur le palier de Bourrah (150 cm environ), la frange

d'altération n'est plus que de 60 cm sur le gradin de Roua et de 10 à 30 cm autour de Mokolo. Elle y alterne avec des dalles rocheuses nues. Son épaisseur dépend toutefois de la nature de la roche-mère. Les granites se débitent en boules régulières métriques à partir d'un réseau de diaclases orthogonales, fournissent une arène abondante. Les roches métamorphiques telles que les anatexies comportant des fissures plus diffuses donnent des blocs et des fragments irréguliers de taille métrique. Les arènes quartzo-feldspathiques et de mica pris dans une matrice de limon argileux constituent des lithosols et des sols régosoliques plus ou moins médiocres comme support agricole même s'ils possèdent quelques caractères chimiques favorables : pH neutre ou faiblement acide, réserves d'éléments fertilisants (chaux, magnésium, potassium, sodium et phosphore). Cependant les plantes ne peuvent disposer immédiatement de tous ces éléments fertilisants. La décomposition se produit le plus souvent sous forme de feldspaths résistants aux agents de destruction et même quand ils finissent par s'altérer en minéraux argileux (rien que 10 %), les sols sur pente ne les reçoivent que très lentement (Boutrais, 1984).

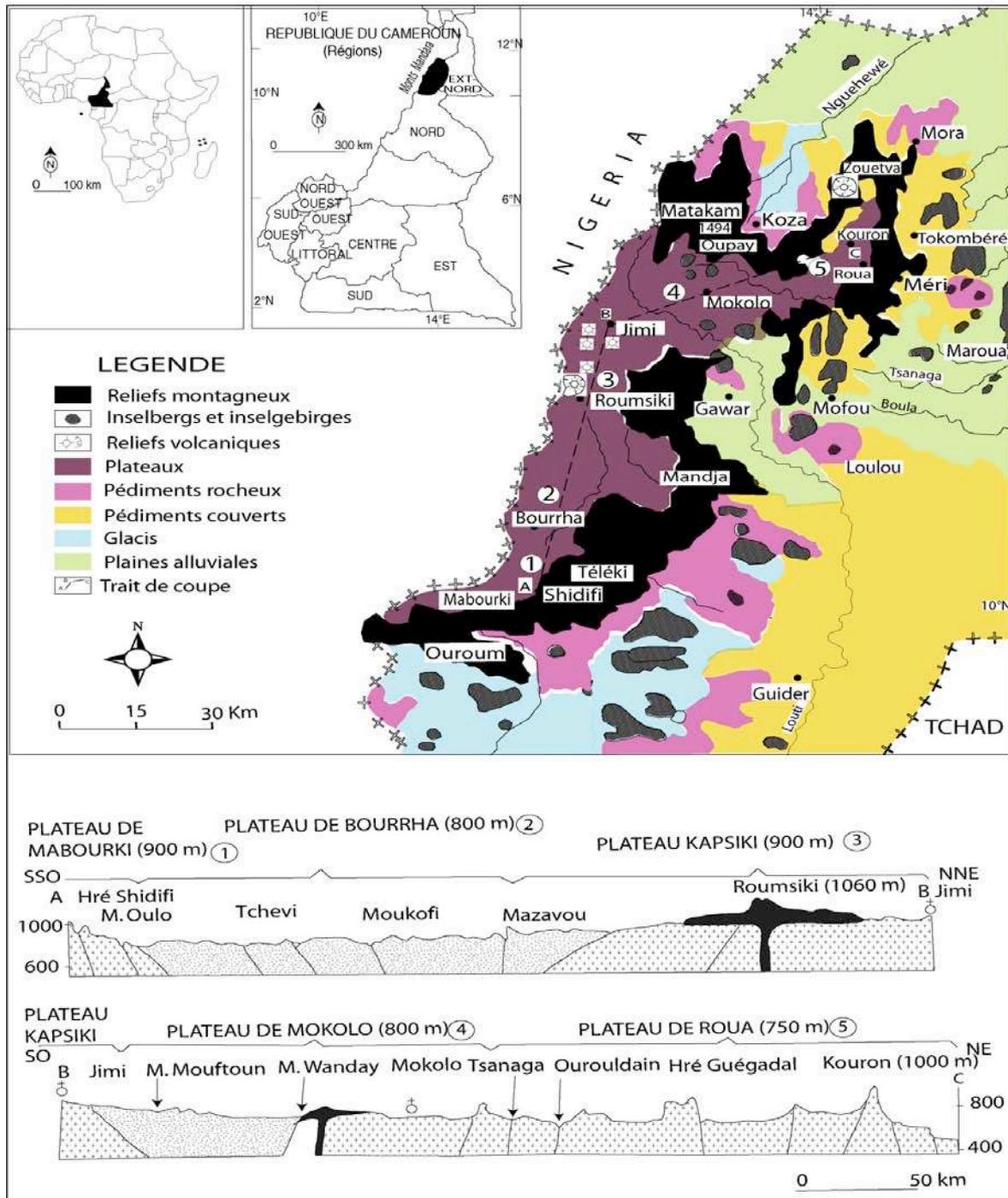


Figure 1. Les monts Mandara et leurs piedmonts.

Avant l'intervention de l'homme, ces lithosols portaient une forêt claire. Cette végétation soudano-sahélienne d'altitude à épineux colonisateurs qualifiée de « végétation primitive » (Fotius et Letouzey, 1968), à cause de sa luxuriance favorisée par des conditions climatiques plus humides qu'en secteur de piémont, se rencontre plus que sur les grands chaos granitiques et les versants inaccessibles car la quasi-totalité de l'espace est anthropisé. Ces reliques sont à l'abri des feux de brousse et des défrichements. Elles sont à dominance de ficus, *Lannea acida* et *Microcarpa*. Sur les roches plus ou moins dénudées, les quelques rares arbres exploitent les anfractuosités. Les sols régosoliques des versants réguliers sont sous

couvert d'*Acacia albida*, de *Parkia biglobosa*, de *Butyrospermum parkii*, de *Tamarindus indica* et de *Ziziphus mauritiana*.

Les monts Mandara, plus que les autres secteurs du soudano-sahélien et du sahélien camerounais, constituent un milieu écologiquement vulnérable qui s'explique par l'ampleur des contrastes thermiques saisonniers sur un fond général de chaleur et de sécheresse récurrente (Suchel, 1987). L'assèchement actuel du climat est marqué par la brièveté, la précarité et la variabilité de l'apport pluviométrique (fig. 2). Cette dernière résulte plus des grandes irrégularités temporelles et de la mauvaise répartition spatiale que des déficits globaux.

Cette situation engendre des conditions de sécheresse selon la classification de Mainguet (1995) : un assèchement climatique (saison sèche de 7 à 9 mois sur 12 avec P / ETP déficitaire) ; un assèchement hydrologique avec les conditions d'écoulement saisonnier spécifiques des milieux secs caractérisées par un endoréisme sous-tendu par l'évaporation des eaux et l'infiltration dans un substrat grossier ; un assèchement édaphique car les sols sont de texture macro-grenue sableuse avec une faible capacité de rétention en eau et un assèchement agricole puisque les années pluviométriques déficitaires et / ou des pluies « trompeuses » ou interrompues sont récurrentes. La faible épaisseur des formations superficielles favorise l'écoulement hypodermique (sub-superficiel).

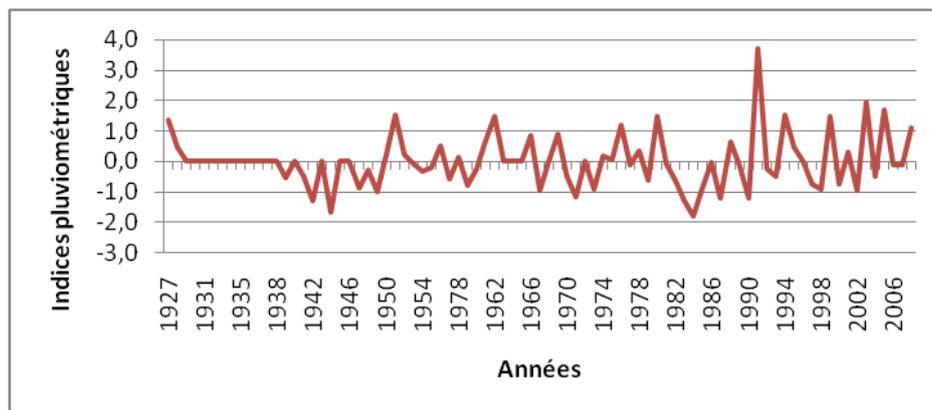


Figure 2. Fluctuations de la pluviosité à Maroua en 82 ans de 1926 à 2008.

Les conditions structuro-topographiques, (substrat rocheux et pentes plus ou moins fortes) accélèrent l'érosion et le ruissellement, la sécheresse accentue le caractère xérophytique de la végétation qui laisse les sols nus, conduisant à leur dessèchement et à leur déstructuration. Les terres minces et rocailleuses des montagnes s'assèchent très rapidement rendant l'aménagement des versants nécessaire avant toute mise en valeur agricole.

2. Caractéristiques des terrasses sur les monts Mandara

Les terrasses sont omniprésentes : chaque espace accessible est utilisé. Leur hauteur dépend de l'inclinaison de la pente. Plus elle est accentuée plus la terrasse est haute. Elles sont constituées de murets de pierres sèches de 40 à 50 cm voire 150 cm (Oudjila) de haut. Le tracé des murets linéaire, sinueux, brisé, arqué suit grossièrement les courbes de niveau. Elles sont de plusieurs types :

- les murets de pierres sèches de taille inférieure à 40 cm forment des marches d'escaliers délimitant des liserés de terre constituant des contremarches de 30 à 60 cm de large. Cet aménagement est propre aux pentes abruptes (50 à 80%). Le profil est brisé, (photo 1) ;
- sur des versants convexes à pente moyenne (5 à 10 %) les terrasses sont espacées par des planches dont la largeur métrique et très variables. Le profil d'ensemble est convexe (photo 2) ;
- des poches de terres sont retenues entre les blocs rocheux dans les secteurs très chaotiques (photo 3) ;
- les versants sont constitués d'une alternance de plages rocheuses nues et de poches de terre soutenues par des terrasses, (photo 4). Ce dispositif favorise la collecte des eaux sur les plages rocheuses et donc enrichit l'alimentation en eau des terrasses.

Dans les deux premiers cas, les terrasses sont soit construites *ex-nihilo* avec un matériel varié : blocs de granite macro-grenu plus ou moins altéré, fragments de quartz filonien de 10 à 40 cm ; soit elles sont arrimées à des blocs métriques en place (photo 5 et 6).

Dans le paysage, soit tous les versants sont occupés par les terrasses et les concessions (« sarés ») rejetées au sommet soit les cases sont noyées dans le système de terrasse sur des replats.

Même si ce dispositif est efficace, fruit d'une très longue expérience ancestrale révélant une bonne connaissance paysanne des unités des paysages, il reste opportuniste, intuitif et empirique sans organisation systématique.



Photo 1 : Gadjawäi, 24 - I - 2007
Terrasse en marches d'escaliers



Photo 2 : Gadjawäi, 22 - I - 2007
Terrasses hautes de 40-50 cm délimitant des planches de plusieurs mètres de large

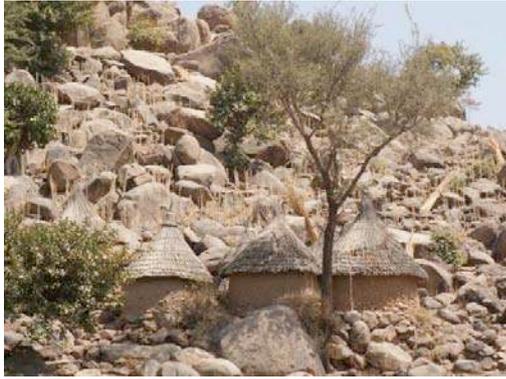


Photo 3. Hadala, 22 – I – 2007
Terrassettes dans un chaos de blocs rocheux. Les cultures se devinent par les éteules de mil coupées à mi - hauteur



Photo 4. Col de Koza, 23 – I – 2007
Alternance de plages de rocheuses nues



Photo 5. Tokombéré, 23 – I – 2007
Terrasses avec murs de soutènement arrimés à des blocs de roches en place.



Photo 6. Karanchi, 24 – I – 2007
Terrasses construites dans des altérites, arrimées à de gros blocs rocheux ennoyés par des colluvions

3. Les terrasses, un dispositif fastidieux et exigeant dans un milieu de peuplement ancien et dense

Les premiers signes d'occupation humaine remontent dans l'Extrême-Nord-Cameroun à l'Age de la pierre: Acheuléen évolué (Marliac et Gavaud, 1975). Ceci se justifie par la découverte des artefacts lithiques (avant 50 000 BP) tels que les bifaces incrustés dans la cuirasse sur le plateau de Doyang. Les monts Mandara se sont peuplés dès le 7^{ème} siècle (Urvoy, 1949). Suite aux diverses migrations et aux métissages entre différents clans, ils comptent à nos jours plus de 30 groupes et/ou sous groupes ethniques.

Malgré le caractère hostile du milieu, les monts Mandara à l'instar de la plupart des massifs d'Afrique soudano-sahélienne ont joué le rôle de refuge pour les populations devant la fougue conquérante de grands empires tels que le Bornou mais surtout lors des « jihad »* [*Guerre Sainte des musulmans, lancée par Ousmane Dan Fodio à partir de l'émirat peulh de Sokoto (au NE du Nigéria actuel) en 1904.*]. Les Monts Mandara appartiennent à la province de l'Extrême-Nord, officiellement la plus

peuplée du pays. Selon le recensement de 1987, elle comptait 3 069 886 habitants soit un tiers de la population du Cameroun, une densité de 87 habitants par km² contre 54 pour le Nord Cameroun et 22 pour le Sud Cameroun. Ces moyennes, calculées par unité administrative, sont le plus souvent des unités géomorphologiques qui ont des contrastes très accusés avec des pôles de populations très denses : les massifs* Mafa, Zoulgo, Mada, Ouldémé, Mouktélé et Podokwo comptent plus de 200 habitants par km². Avec un taux d'accroissement naturel de 2,9, la population totale du Cameroun est estimée à 20,710 millions en l'an 2010. La population des monts Mandara serait alors de 1 165 973 hbts pour une densité 152,21 contre 43 hbts / km² sur le plan national. Les estimations en 2007 lui attribuent déjà une population de 1 072 901 hbts pour une densité de 140 hbts / km² [(Rapport Ministère de l'Agriculture, 1992), (Archives de la Délégation Régionale du Plan de L'Extrême-Nord)].

Les populations très nombreuses dans les Monts Madara s'évertuent depuis toujours à s'adapter à leur milieu. Malgré la roche saine affleurante et subaffleurante, l'essentiel des cultures vivrières de subsistance (mil pluvial, haricot niébé, wanzou, pois de terre, arachide, l'éleusine, sésame, gombo, souchet, oseille de Guinée) se pratiquent sur ces sols - que Sieffermann et Martin (1963) ; Humbel et Barbery (1974) ont jugé incultes- grâce à la technique séculaire de terrasses, qui permet de maintenir la terre (argile) et l'humidité sur les versants. Elle favorise l'infiltration de l'eau et lutte contre les effets néfastes de l'érosion. En donnant plus d'épaisseur aux murettes de pierres (massifs Podokwo), elle réduit l'assèchement des sols et retarde d'autant l'arrêt de leur activité en saison sèche. Ce dispositif est la condition nécessaire pour toute pratique agricole sur les versants pentus mais il est fastidieux à construire et exigeant en entretien pour perdurer. En effet, pour étendre les espaces agricole, la terre de remblai sur la roche nue derrière les murets de pierres sèches est remontée parfois à tête d'homme ou dans le meilleur des cas à dos d'âne depuis les plateaux intramontagnards et les plaines de piémont. Les travaux d'entretien sont obligatoires chaque année au mois d'avril avant les semailles. En effet, les terrasses sont en partie endommagées par le bétail en vaine pâture durant la longue saison sèche ou par les torrents pendant la saison des pluies. Lorsque les blocs rocheux sont trop gros pour être dégagés, on sème entre eux et même dans les anfractuosités. La tendance actuelle est au regroupement des terrasses pour avoir des planches de plus vaste surface, notamment sur les replats. L'aménagement des pentes en terrasses rend les travaux agricoles moins pénibles, puisque le cultivateur peut se tenir sur le niveau inférieur pour sarcler et nettoyer la banquette supérieure. Pour aérer le champ, les arbres sont émondés tous les ans. On choisit soigneusement les arbres et les branches à tailler : les arbres les plus vieux sont taillés pour leur donner de la vigueur. Toute la famille participe au travail, enfants et adultes. Les parcelles constituent les seuls biens à léguer ou à vendre en cas de nécessité et se transmettent de génération en génération. La vie agricole rythmée par des rites agraires est en harmonie avec la vie sociale et la vie religieuse (Hallaire, 1984).

La fertilité de ces sols a pendant longtemps tenu aux remaniements incessants, à leur réalimentation en éléments minéraux provenant de la roche-mère subaffleurante et de l'approvisionnement en matières organiques : cendre, déjections d'animaux domestiques (caprins et ovins) et déchets de cuisine, des herbes entassées et brûlées, de l'enfouissement des herbes et des éteules de mil qui n'ont pas servi de combustible, et de la pratique de la jachère. Certains paysans font du compost à

partir des feuilles. On pratique les cultures en rotation : 1^{ère} année, mil pénicillaire ; 2^{ème} année sorgho et 3^{ème} année oseille de Guinée - haricot niébé – arachide. De plus en plus les amendements se font par l'engrais chimique acheté à la Société de développement du Coton (SODECOTON) et détournés pour la culture des plantes vivrières. L'amendement naturel se fait par remplissage colluvial de terre en amont des murets mais aussi et surtout par retombées de poussières éoliennes comme apports édaphiques. Il est probable que le volume de cet apport est plus considérable que l'on peut l'imaginer. L'origine de ces poussières éolienne est probablement liée au courant éolien qui s'amorce dans le secteur du Tibesti et de l'Ennedi, qui empreinte la Dépression de Bodelé jusqu'au lac Tchad et qui descend jusqu'au Cameroun septentrional. Ce flux éolien est parfaitement repérable sur les images Météosat. Ces grands volumes éoliens donnent une texture limoneuse favorable par sa bonne capacité de rétention en eau et sa fertilité.

4. Une technique qui a fait ses preuves

Malgré le système de production s'apparentant au jardinage et caractérisé par l'intensité de la mise en valeur de l'espace et la priorité donnée aux champs vivriers (Boutrais, 1984), les besoins vitaux d'une population très dense ne sont plus totalement assurés. Compte tenu de l'aspect décharné de certains champs et de la vigueur des pentes où les paysans passent leur temps à gratter la pierre et où malgré ces efforts les famines persistent, nous percevons les terrasses comme un dispositif de résignation dans cette topographie difficile où il n'y a pas d'autre alternative (photo 7).

En désespoir de cause donc, les paysans multiplient et/ou associent les dispositifs de gestion conservatoire de l'eau et des sols. C'est ainsi que l'on peut observer des cordons de pierres (photo 8), des levées de terre armées de pierres (photo 9), des dispositifs antiérosifs de paillage (photo 10), des associations terrasses-agroforesterie à *Ziziphus mauritania*, *Acacia albida*... presque partout (photo 11) et des labours profonds sur les replats et les bas-fonds (photo 12).

Malgré toutes ces initiatives, l'addition des populations refoulées et celles originelles des montagnes a, combiné à l'accroissement naturel, créé une situation latente de surpeuplement qui devient de plus en plus difficile à gérer. Les fortes densités de population ont précarisé leur cadre de vie en intensifiant son exploitation. Ainsi comprimées sur des reliefs exigus et en proie à des disettes à cause du manque d'espaces cultivables, des ravages annuels des acridiens et l'impossibilité de développer des cultures commerciales et d'accéder à une économie monétaire mais aussi et surtout l'assèchement et les variabilités du climat poussent les montagnards en nombre croissant à émigrer. Les populations sont descendues à la conquête des basses terres plus généreuses, à la faveur de la sécurité revenue à l'époque coloniale et plus encore depuis l'Indépendance (Boutrais, 1973)

Ainsi, en dehors de la volonté politique de faire descendre les montagnards afin de mieux les contrôler et ce, depuis l'administration française, l'instinct de survie qui a toujours animé ces populations se traduit dans les migrations. Ce sont des migrations saisonnières de morte saison (6 à 7 mois de saison sèche) vers les plaines intramontagneuses (Gawar) et les plaines de piémont où les paysans peuvent pratiquer la culture de sorgho de contre saison (« muskwariculture) à leur compte sur des parcelles louées ou comme ouvriers agricoles. Les migrations saisonnières de la saison culturale sont limitées aux bas secteurs intramontagneux

où les ouvriers sont payés en argent ou en mil. Dans les deux situations, de nombreux cas de métayage existent dans les plaines.

Dans tous les cas, les possibilités d'embauche sont très limitées et le caractère harassant des travaux champêtres pousse l'excédent de la main d'œuvre à une émigration de longue durée vers le Nigeria voisin et vers d'autres campagnes de l'Extrême-Nord (plaines) et du Nord (autour de Garoua) mais surtout vers les villes où, dans les meilleurs cas, ils sont veilleurs de nuits, employés de maison, cireurs de chaussures... ou ils pratiquent le commerce ambulancier ou parfois grossissent les rangs des délinquants urbains.



Photo 7. Dinglya, 23 – I – 2007
Les lambeaux de sol perchés, témoins d'un récurage très actif favorisés par la pente et le substrat cristallin affleurant, étayent notre jugement de dispositif de résignation



Photo 8. Zileng, 24 – I - 2007
Alignement de pierres dans le champ



Photo 9. Mawach, 22 – I - 2007
Bourrelets de terre renforcés par des coiffes de pierres non jointives



Photo 10. Kosséhône, 24 – I – 2007
Dispositif antiérosif de éteules de mil ont été coupés à 80 cm du sol et couchées au sol (paillage).



Photo 11. Magra, 22 – I – 2007
Association terrasses –
agroforesterie.



Photo 12. Gadjawaï, 22 – I – 2007
Les labours profonds sont pratiqués
sur les sols assez lourds des bas-fonds
où l'on cultive quelques tubercules,
telles que la patate douce, taro, la
canne à sucre, les oignons

Les données sur les migrations sont sous-estimées car au Cameroun comme dans beaucoup de pays en développement les migrations ne sont pas déclarées. Toutefois, déjà en 1987 (dernier recensement général de la population et de l'habitat) 88% des individus nés en montagne vivaient déjà dans une des 64 villes d'au moins 10 000 hbts. En exemptant les déplacements à l'intérieur d'un même arrondissement qui n'était pas considéré comme des migrations, on trouve que 4,8 % de la population des montagnes avaient émigré vers les villes de plus de 10 000 hbts autres que la ville de l'arrondissement concerné (Maroua, Mokolo, Mora, Kousséri, Garoua).

5. Conclusion

La forte pression démographique dans les Monts Mandara créé une situation latente de surpeuplement qui devient difficile à gérer. Les fortes densités de population ont précarisé leur cadre de vie en intensifiant son exploitation. Les terrasses et les techniques associées telles que l'alignement simple de pierres, le paillage, l'agroforesterie et le contrôle du ruissellement par l'association des cultures et dans une moindre mesure le labour profond sur les replats et dans les bas-fonds qui sont des stratégies séculaires de survie sont aujourd'hui mises en péril par un fort accroissement démographique et des sécheresses récurrentes. Compte-tenu des faibles revenus des ces populations et des risques sanitaires, l'amendement du sol par l'utilisation des engrais chimiques n'est pas une solution généralisable. Même si pour ces populations partir semble la plus facile des solutions, il ne faut pas occulter les problèmes d'intégration des migrants. Etant donné l'attachement des montagnards à leur terroir d'origine, la solution idéale serait une gestion efficiente des ressources en eau qui passerait par une appropriation et une gestion de la ressource par les locaux et non pas comme par exemple à Mora et à Koza une utilisation politique de l'eau.

Bibliographie

Archives de la Délégation Régionale du Plan de L'Extrême-Nord.

Boutrais J., 1973. Compétition foncière et développement au Nord du Cameroun ; la plaine de Mora. *Cah. de l'ONAREST*, Yaoundé, vol. 1, n°2, pp 53 – 90.

Boutrais J., 1984. Les milieux naturels et l'occupation du sol. Le nord du Cameroun. Des hommes, une région, ORSTOM, Coll. Mémoires n°102, pp 63 – 100.

Humbel F. X. et Barbery J., 1974. Carte pédologique de reconnaissance. Feuille Garoua au 1/200 000. Notice explicative n°53. ORSTOM, 1 vol. 113 p.

Hallaire A. 1984. La diversité des systèmes agraires . Etude de quelques terroirs villageois. Le nord du Cameroun. Des hommes, une région, ORSTOM, Coll. Mémoires n°102, pp 375 – 405

Manguet M., 1995. L'homme et la sécheresse. Masson, Paris, 335 p.

Marliac A. et Gavaud M., 1975. Premiers éléments d'une séquence paléolithique au Cameroun septentrional. Association Sénégal et Quaternaire Africain, *Bulletin de liaison, Sénégal*, N°46, déc., pp. 53- 66.

Rapport Ministère de l'Agriculture, 1992.

Sieffermann G. et Martin D., 1963. Carte pédologique du Nord-Cameroun au 1/100 000^e . Feuille Mousgoy. I.R.C.A.M., Yaoundé, 1 vol. 120 p.

Suchel J.-B., 1987. Les climats du Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Bordeaux III, 3 T., 1186 p. + 1 Atlas.

Tamura S., 1992. Towards the establishment of grasses and crops on the loess plateau in China. International Symposium on Land degradation and its biological and technical rehabilitation in Drylands, Totow, Japan, pp. 11 – 22.

Urvoy Y., 1949. Histoire de l'empire du Bornou. Mém. I.F.A.N., n°7, Larose, Paris, 166 p.

DES STRATEGIES TRADITIONNELLES DE LUTTE CONTRE L'EROSION DES SOLS SUR LE PLATEAU DE NGAOUNDERE (NORD CAMEROUN)

Michel TCHOTSOUA*

*Université de Ngaoundéré, Département de Géographie, tchotsoua@yahoo.fr

Résumé. L'Adamaoua est le domaine pastoral le plus important du Cameroun. Il est marqué par une dégradation accélérée des terres dont les manifestations les plus inquiétantes sont la perte de la fertilité et le ravinement. Les paysans, conscients de la gravité du phénomène, ont développé un certain nombre de techniques pour tirer parti de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. En nous basant sur les variétés culturelles et éco-morphologiques de ce milieu nous avons étudié la diversité des stratégies traditionnelles en vue d'un usage renouvelé. L'approche adoptée comprend deux composantes :

- une analyse des images satellitaires complétée par des observations et des mesures de terrain afin de déterminer les terroirs critiques ;
- une enquête directe auprès de 3 groupes d'acteurs : les paysans, les élus communaux et les techniciens et ingénieurs agronomes. Les enquêtes et entretiens avec les paysans ont été réalisés sous forme de discussions et de débats dans 7 villages représentatifs dont 3 en plaine et 4 en montagne.

De ces observations et enquêtes, on relève que les paysans ont développé ou réactivé les méthodes traditionnelles de gestion de la fertilité des terres et de lutte contre l'érosion notamment : l'intégration agriculture-élevage bovin, les jardins de case, la plantation du *Musa nain*, l'élevage de la volaille et des petits ruminants en cage avec production de fumier. Bien que ces stratégies soient ingénieuses et efficaces, elles ne s'appliquent que sur de petites superficies et ne permettent qu'une agriculture de subsistance. Les chercheurs, en relation étroite avec les techniciens de l'Etat, doivent étudier les possibilités d'améliorer ces techniques paysannes. Du dialogue entre ces groupes d'acteurs, peut naître une prise en charge de l'environnement rural par les communautés qui l'exploitent moyennant des aides techniques et financières significatives de l'Etat.

Mots clés. Dynamique de l'espace rural, Nord-Cameroun, stratégies traditionnelles, fertilité des sols, lutte antiérosive, ravinement.

Abstract. The Adamawa highlands are the most important pasture region of Cameroon. It is facing an accelerated degradation which the most disturbing manifestations are loss of fertility and gully erosion. In some villages, farmers, aware of the seriousness of the phenomenon, have developed traditional techniques to manage water, biomass and soil fertility. Basing ourselves on the cultural and eco-morphological varieties we have studied the diversity of traditional strategies for renewed use. The approach includes two components: * an analysis of satellite imagery supplemented by field observations and measurements to determine the critical land; * a direct survey of 3 groups of actors: farmers, elected municipal and agricultural engineers and technicians. Surveys and interviews with farmers were made in the form of discussions and debates in 7 representative villages. From these observations and surveys, we observe that farmers have developed or revived traditional methods of managing soil fertility and control erosion including: the integration of agriculture and cattle breeding, home gardens,

clearing and burning, planting of Musa Dwarf, breeding poultry in small cage with manure production. Although these strategies are ingenious and efficient, they can be applied only to small areas and allow only subsistence farming. The researchers, in close relationship with technicians should explore possibilities of improving the techniques used by farmers. Dialogue between these groups of actors can rise to a support environment for rural communities which operate by means of technical assistance and significant financial state.

Keywords. Dynamics of rural, northern Cameroon, traditional strategies, soil fertility, erosion control.

Introduction

Depuis les années 1980, le plateau de Ngaoundéré (Figure 1) subit une évolution accélérée de son espace rural. Mais bien qu'elle soit en profonde mutation, l'agriculture est toujours le moteur de l'économie de la région. Cependant, la mise en culture d'espaces toujours plus grands et la diminution des temps de jachère, provoquent le surpâturage et favorisent la dégradation des sols dont la restauration par les engrais chimiques ne peut plus être envisagée compte tenu de la paupérisation généralisée des paysans.

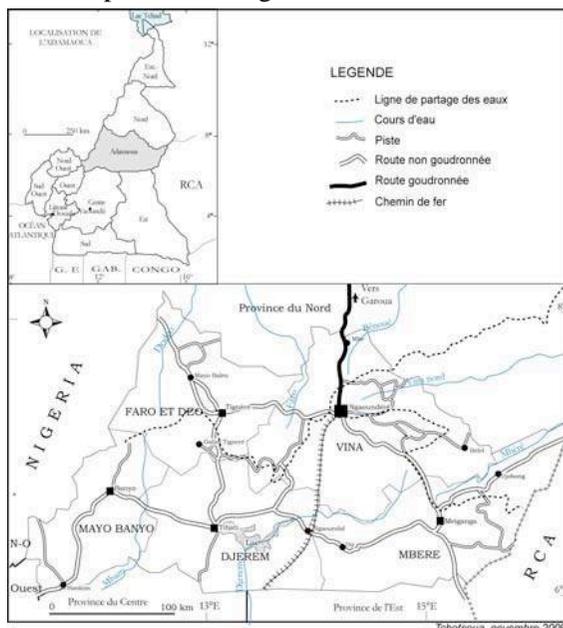
La dégradation des sols ne s'exprime pas seulement par une baisse de la fertilité mais aussi par une accélération des pertes en sol, les facteurs du milieu physique étant naturellement fragiles: le régime des pluies, souvent violentes, favorise le ruissellement, le ravinement sur les versants et l'ensablement des cultures dans les bas fonds. Le corollaire de tous ces facteurs est une baisse de la productivité du travail. La production de charbon de bois apparaît alors comme une alternative à l'amélioration des revenus agricoles. Cette production provoque un déboisement anarchique qui accélère la détérioration des ressources végétales, véritable support des exploitations agricoles.

La décapitalisation ainsi provoquée s'accompagne d'une perte de la cohésion sociale et oblige les paysans à adopter une attitude de survie, marquée par le retour aux anciennes techniques de restauration de la fertilité des terres et de lutte contre l'érosion des sols que nous nous proposons d'analyser dans cette communication après avoir présenté le contexte éco-géomorphologique et la diversité des processus d'érosion en cours dans la région.

1. Du milieu et des hommes

A une altitude moyenne de 1100 m, le plateau de Ngaoundéré est constitué de molles ondulations aux versants généralement convexes. A partir du point triple¹ (Figure 1), il est drainé par un réseau hydrographique centrifuge. Deux types de paysage géomorphologique s'y distinguent : les massifs granitiques résiduels aux versants encombrés de blocs rocheux et les constructions essentiellement trachytiques ou basaltiques du Tertiaire et du Quaternaire. Cette configuration topographique est responsable d'un climat un peu particulier à ces latitudes.

Figure 1. Localisation de la Région de Ngaoundéré



Le climat du plateau de Ngaoundéré est caractérisé par une courte saison sèche de 4 à 5 mois (novembre/décembre à mars/avril) et une longue saison pluvieuse (avril/mai à novembre/décembre).

L'altitude de Ngaoundéré crée des conditions climatiques particulières caractérisées par une modération très sensible des températures (moyenne mensuelle de 20 à 26°C) et d'importantes précipitations annuelles (entre 1600 et 2 000 mm) inégalement réparties sur l'ensemble de la région.

Les sols de la région ont été étudiés par plusieurs auteurs (Laplante et Bachelier, 1954 ; Humbel, 1966 ; Volger et *al.*, 1982 ; Boutrais, 1995). Même si Humbel (1966) y distingue quelques affleurements de sols ferrugineux piégés entre les boules, ce sont essentiellement des formations ferrallitiques issues de roches diverses ou acides qui dominent dans la région.

¹ Le point triple (baptisé par Humbel, 1966) est le point de partage des eaux, situé à environ 20 km à l'ouest de Ngaoundéré, entre les bassins de la Bini, du Faro, de la Vina et de la Bénoué.

Au plan pédologique, l'Adamaoua central présente 2 ensembles plus ou moins calqués sur le relief. Sur les inselbergs et les édifices volcaniques du Quaternaire, les sols sont jeunes, peu épais aux horizons peu différenciés ou tronqués par l'érosion tandis que sur les interfluves du plateau, ils sont beaucoup plus évolués avec des horizons bien distincts.

Alternent ainsi, en surface, les cuirasses, les sols ferrallitiques jeunes ou tronqués par l'érosion et les sols ferrallitiques évolués. Cette variation des types de sols conditionne plus ou moins la répartition du couvert végétal.

La végétation de l'Adamaoua central est une savane soudano-guinéenne arbustives ou arborées à *Daniellia oliveri* et *Lophira lanceolata*. Sur les montagnes, elle est caractérisée par la grande taille des individus qui la composent et par sa relative homogénéité. Aux monts Nganha par exemple, vers Mbalang Djalingo et dans la vallée de la Ndoubar, *Daniellia oliveri* et *Lophira lanceolata* forment de véritables forêts claires, monospécifiques. Cette végétation, par sa morphologie, contraste avec celle du plateau moyen et des basses terres qui les entourent. C'est le domaine pastoral le plus important du Cameroun.

D'après les travaux de Podlewski (1971) et les traditions orales, les premiers occupants de ces hautes terres seraient les Mboum, les Dii ou Dourou (excellents forgerons) et les G'baya. Ces peuples sont essentiellement des agriculteurs. Ils cultivent le mil, le maïs, le manioc et l'igname, la patate douce, la pomme de terre et les fruitiers (manguiers, orangers, goyaviers, citronniers et bananiers). A partir de 1830, l'arrivée des Foulbé marque un tournant dans l'histoire démographique de la région car, les agriculteurs sont très vite décimés ou réduits en esclavage. Les traces de ces peuples sont matérialisées de nos jours par les ustensiles en pierre notamment les meules dormantes. Malgré la croissance démographique rapide, le plateau de Ngaoundéré reste faiblement peuplé.

2. Diversité des processus de dégradation

La grande diversité des milieux explique également la diversité des processus de dégradation des sols sous l'effet du climat et des actions anthropiques (Morin, 1998). Elle s'effectue en trois temps (Roose, 1992) :

- minéralisation continue et rapide des matières organiques non compensée après le défrichement (peu ou pas d'enfouissement de M.O.) et accélérée par l'érosion diffuse (sélective de l'argile, des matières organiques et des nutriments associés) ;

- glissement progressif des couches superficielles par un travail répété du sol sous les cultures vivrières occupant très temporairement le sol ;
- développement du ruissellement et du ravinement suite au tassement du sol par le bétail, et surtout à la diminution de la capacité de stockage d'eau dans les sols décapés par l'érosion aratoire.

L'érosion en nappe ne semble pas très importante dans les plaines: on observe rarement de véritables croûtes de battance mais souvent le rejet d'agrégats, l'affaissement des buttes et le tassement de la surface du sol. Les sols argileux, bien structurés, calciques et caillouteux sont très résistants: la battance de la pluie ne dégage que des agrégats.

L'érosion linéaire, par contre, est omniprésente sous forme de griffes (canaux de quelques centimètres), rigoles (décimètres) évoluant rapidement en ravines actives (mètres) si on n'intervient pas (Roose, 1992 ; Tchotsoua, 2008). En effet, les terres où la roche-mère affleure, les chemins et les pistes, les jachères surpâturées et les sols sur substrat granitique ou basaltique sont à l'origine du ruissellement dangereux sur les fortes pentes.

Les mouvements en masse de terres s'effectuent lentement par reptation et érosion aratoire (par le travail du sol) sur fortes pentes et par érosion régressive sur pentes convexes à partir des réseaux de ravines (Hiol Hiol et *al.* 1997). L'érosion des berges est très active dans les vallées en auge où les rivières surchargées de sédiments changent fréquemment de lit.

3. Les stratégies traditionnelles paysannes de restauration de la fertilité des terres et de lutte contre l'érosion.

Face à la double crise économique et environnementale, la paysannerie adopte des stratégies qui varient dans le temps et l'espace.

3.1. Lutte contre l'érosion diffuse et maintien de la fertilité des terres

Sur le plateau de Ngaoundéré les paysans utilisent des techniques de lutte traditionnelles mais dont l'efficacité est limitée. Elles ont toutefois l'avantage d'être bien intégrées aux systèmes de culture et pourraient donc être améliorées. On peut relever autour de Ngaoundéré:

- Les billons perpendiculaires à la pente, plus courant dans les plaines de la Bénoué et du Diamaré, sont insuffisants pour enrayer l'érosion. Ils n'ont qu'un impact limité sur le ruissellement et suivent rarement les courbes de niveau. Aussi, lorsqu'ils sont trop longs, il se crée des points de rupture, début d'érosion linéaire lors de très fortes pluies.

- Quelques *haies vives* constituées de diverses espèces pourraient avoir une certaine efficacité. Cependant, elles ne concernent que les parcelles proches des habitations, c'est-à-dire sur de faibles pentes et en propriété. De plus, elles sont surtout établies en clôtures et ne sont donc pas disposées en courbe de niveau. Leur principal rôle est de lutter contre le vol et la divagation des animaux. Les espèces utilisées ne sont pas appréciées par le bétail et produisent peu de biomasse.

3.2 Lutte contre l'érosion linéaire

Pour éviter les rigoles ou les griffes, les techniques de *clayonnage* sont également utilisées par les paysans, mais elles sont plus rares du fait que ces formes d'érosion se manifestent surtout dans les secteurs où la végétation n'existe plus.

Pour les petites et moyennes ravines, la plantation de *Bananier nain* de part et d'autre du drain de la ravine permet de stabiliser le sol et diminuer l'érosion à l'aide du système racinaire de cette plante (Photo 1). Les agriculteurs construisent *des petits seuils* en matériel végétal et/ou en pierres (Photo 2). Mais ces pratiques ne sont pas encore courantes et nécessitent des précautions et de l'entretien: les plantes de bananier ou les ouvrages, bien souvent fragiles, sont emportés lors des grosses pluies.



Photo 1. Système traditionnel de lutte contre le ravinement avec le *Musa nain*.
Cliché M. Tchotsoua



Photo 2. Amélioration du système de lutte contre le ravinement par les haies associées aux cailloux.
Cliché M. Tchotsoua

4. Intégration agriculture-élevage et recomposition de l'espace rural

Devant la situation créée par la rareté des espaces cultivables, l'agriculture itinérante sur brûlis n'existe plus. Il en est de même de la pratique de l'élevage transhumant qui devient de plus en plus difficile. Suite à la sédentarisation de la majorité des éleveurs et aux conflits récurrents entre agriculteurs et éleveurs, la plupart des éleveurs ont accepté une cohabitation avec les agriculteurs. Et la division de l'espace devient de mise tant chez les agriculteurs que chez les agro-éleveurs.

On distingue désormais trois grands ensembles qui marquent le paysage et se caractérisent par des transferts de fertilité de l'un à l'autre par l'intermédiaire du bétail:

- Autour de chaque habitation, le *jardin de case* s'étend généralement sur 500 à 2000 m². Il est constitué de végétation anthropique dense entourant la case et toujours en propriété. Dans ce jardin de nombreuses espèces pérennes ou annuelles sont associées et forment plusieurs étages de végétation: avocats, manguiers, papayers, bananiers, macabo, taro et igname se discutent l'accès à la lumière. Le



Figure 2. Structuration de l'espace rural conditionnée par la gestion de la fertilité des terres à l'ouest de Ngaoundéré d'après l'image satellite Ikonos de la région de Ngaoundéré du 22 septembre 2007.

paysan soudano-sahélien est conscient du rôle des espaces boisés sur l'environnement (meilleure infiltration des eaux de pluies, production de biomasse, diminution des phénomènes de battance et de l'érosion en masse). Mais les contraintes exogènes (pression foncière, revenu faible d'où vente de charbon de bois) et endogènes à l'exploitation font qu'il lui est souvent difficile de gérer et maintenir ce patrimoine.

- *Au-delà du jardin de case* se trouve les *champs de tubercules et/ou de céréales de proximité*: leurs superficies varient entre 2000 m et 10000 m²: cette zone, non boisée, est délimitée par des haies vives d'arbustes afin de marquer la propriété, abriter les cultures du vent et les protéger des

animaux. On y cultive en association le haricot, le maïs, l'igname, la patate douce, le niébé, le mil, le sorgho et/ou le manioc (Figure 2).

- Plus loin, et parfois à la faveur de la présence d'un karal (Seignobos, 1993) ou d'un bas fond, se trouve le champ de cultures céréalières lointain. Avec des surfaces souvent supérieures à 10000 m², ils sont généralement protégés contre le bétail par des piquets et fils barbelés. Les paysans y pratiquent une association de haricots et de patates douces ou du maïs et des arachides pendant six mois. Ensuite, la parcelle peut être laissée en jachère pâturée. La durée de la jachère varie de trois mois à deux ans selon les types de champs et la disponibilité en terre du paysan. Lorsque les jachères sont longues (un à deux ans), les animaux sont laissés au piquet sans apport de fourrage, d'abord pour y manger les résidus de récolte directement sur place (paille de maïs et de sorgho), puis pour le pâturage (Photo 3). Il y a ainsi un recyclage directement sur place de la matière organique en déjections animales qui, non fermentées et exposées au soleil, subissent de fortes pertes en azote (Roose, 1992). Cette technique provoque souvent un tassement du sol sur forte pente, ce qui favorise le ruissellement. A côté se développe aussi le parcage, une des grandes révélations de l'intégration agriculture-élevage dictée par la perte de la fertilité générale des sols en milieu soudano-sahélien (Photo 3 et 4).



Photo 3. Intégration agriculture-élevage : parcage et fertilisation des sols pour la culture du maïs dans la vallée de la Marza. Cliché M. Tchotsoua, mars 2009



Photo 4. Parcelle de 1 hectare fertilisée par un seul troupeau de 67 têtes en 2 semaines dans la vallée de la Marza. Cliché M. Tchotsoua, mars 2009

Dans chaque parc à bétail de 200 m² environ, généralement situés sur les pieds de versants un troupeau de 70 têtes en moyenne passe 10 à 15 nuits après avoir brouté pendant la journée les éteules dans les champs de bas fonds des agriculteurs. Après quoi, les piquets et le fil barbelé sont déplacés et ainsi de suite jusqu'à ce que les bouses de vaches soient déposées sur toute la parcelle (Photo 4).

5. Efficacité des stratégies de lutte antiérosive traditionnelle et propositions pour leur amélioration

De l'analyse des techniques agricoles et des enquêtes auprès de ces acteurs, il ressort que le maintien de la fertilité des sols est lié à l'intensité des soins apportés à la terre, à l'adaptation au milieu, à la gestion de la fumure, aux aménagements pour retenir l'eau et les nutriments.

Bien que ces stratégies soient efficaces, elles ne peuvent permettre qu'une agriculture de subsistance. Le rendement est important mais la productivité est très faible. Il ne peut en être autrement car la force du travail n'est que celle des bras des paysans. La mécanisation du système est nulle.

Toutes ces techniques traditionnelles de lutte antiérosive confirment que le paysan soudano-sahélien est un artisan du paysage agraire. Mais si sa faculté d'adaptation est remarquable, il faut reconnaître que la logique de production par les sociétés rurales soudano-sahéliennes, induit des points de rupture remettant en cause la reproductibilité de certains systèmes. On distingue parmi les causes principales:

- Un espace agraire très contraignant exposé aux érosions de toutes formes ;
- Des conflits fonciers, obstacles à l'aménagement de parcelles ou de versants et favorisant également l'érosion.

Il est primordial, si l'on veut augmenter la productivité, de procéder à une meilleure gestion de l'eau, mais aussi à une meilleure gestion des nutriments et de la matière organique. Ainsi, pour améliorer le cycle des nutriments, il convient de revoir l'utilisation de la biomasse disponible. Celle-ci peut être considérablement augmentée avec la production des haies vives qui doivent :

- améliorer l'infiltration par ralentissement des écoulements ;
- augmenter la production de biomasse (environ 3 à 5 tonnes/hectare/an si la distance entre les talus est d'environ 10 mètres) par la plantation des arbres qui peuvent être utilisés pour améliorer la fertilité par une restitution organique en répandant sur le sol les résidus issus de la taille des arbustes-légumineuses. Ainsi cette biomasse restitue rapidement et de façon plus progressive les nutriments. Enfin, elle est très utile pour

l'alimentation du bétail (coupe des graminées et légumineuses), pour la production de bois de feu, et, à plus long terme, pour la production de fruits et de bois d'œuvre et pour améliorer la protection contre les vents et la divagation des animaux.

Les actions d'accompagnement de ces stratégies sont indispensables et concernent:

- l'introduction de cultures plus valorisantes notamment celle des cultures maraîchères. Cette diversification des cultures dans les bas fonds est la courroie de transmission entre aménagement, amélioration de la fertilité des sols et augmentation de la productivité, le corollaire étant une augmentation du revenu.

- l'augmentation de la production de lait qui passe par des actions d'amélioration de l'alimentation, des conduites et des facteurs génétiques.

- la diversification des produits fruitiers: plusieurs campagnes de greffage sur des arbres adultes de plus de 5 ans, ont été réalisées sur l'ensemble du transect pour introduire des variétés améliorées (oranges, mandarines et pamplemousses pour le marché américain) ou de contre saisons (manguiers, avocatiers) pour les marchés nationaux et internationaux.

- l'amélioration de la sécurité foncière: les aménagements proposés constituent un investissement important en travail, parfois en argent. Pour le paysan, ces aménagements dont la rentabilité n'est pas immédiate sont d'autant plus importants que la sécurité foncière est bonne.

Conclusion

Au total, les paysans des hautes terres de l'Adamaoua ont développé ou réactivé les méthodes traditionnelles de gestion de la fertilité des terres et de lutte contre l'érosion. Ce sont : l'intégration agriculture-élevage bovin, les jardins de case, la plantation du *Musa nain*, l'élevage de la volaille et de petits ruminants en cage avec production de fumier.

Seulement, ces stratégies ne s'appliquent que sur de petites superficies et ne permettent qu'une agriculture de subsistance. Une rénovation de l'économie rurale qui nécessite une modernisation des moyens d'exploitation, une amélioration des méthodes de culture et une création d'autres sources de revenus pouvant faciliter la reconversion des terres et

donner à la population des moyens de subsistance, est hautement importante pour maintenir les jeunes sur place. Il faudrait, sans doute, reconsidérer ces positions et, sans vouloir idéaliser les stratégies traditionnelles, analyser leur aire de répartition, les conditions de leur fonctionnement, leur efficacité, leur coût, leur dynamisme actuel, et surtout développer les possibilités de leur amélioration avec l'appui de l'Etat.

Références bibliographiques

- Boulet J., Beauvilain A., Couty P., Hallaire A. et Boutrais J., 1984. *Le Nord du Cameroun, des hommes, une région*. ORSTOM, Paris, 551 p.
- Boutrais J., 1995- *Hautes terres d'élevage au Cameroun*. Thèse de doct. de Géographie, Université de Paris X, ORSTOM, Etudes et thèses, Paris, 1302 p.
- Consultants Associés, 1997. *Les aménagements hydro-agricoles dans la vallée de la Bénoué : analyse diagnostic*. Rapport de mission, F.E.D, MEAVSB.
- Hallaire A., 1991. *Paysans montagnards du Nord Cameroun : les monts Mandara*. Orstom, Paris, 253p.
- Hiol Hiol, F., Mietton, M. 1997. Fonctionnement hydrologique et rendement agronomique des terrasses des Monts Mandara (Nord Cameroun) : des comparaisons à différentes échelles spatiales entre systèmes agraires traditionnels et améliorés. In : F. Bart, S. Morin et J.-N Salomon (éds), *Les montagnes tropicales : identités, mutations, développement*. Collection *Espaces Tropicaux*, 16 : 323 – 354, Pessac.
- Humbel F-X., 1966- *Etude de certains sols rouges à sables quartzeux de l'Adamaoua (Cameroun)*. ORSTOM, Yaoundé (CMR), 28 p.
- Morin S., 1998. Géomorphologie. In : *Atlas de la Province de l'Extrême Nord Cameroun* : 1-49
- Naimi Mustapha Bachard Bouamar, 2002. Aménagements traditionnels dans une vallée du haut Atlas Occidental, Maroc. Bull. Réseau Erosion, 21 : 82-93.
- Podlewski, A., 1971- La dynamique des principales populations du Nord-Cameroun (2^{ème} partie) : piémont et plateau de l'Adamaoua. *Cah. Orstom. sér. Sci. Hum.*, 8, n° spécial, 148 p.
- Roose E., 1994. *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES)*. Bull. Sols FAO, Rome, 70: 420 p.
- Roose E., Boutrais J., et Boli Baboulé Z., 1998. *Rapport d'évaluation fertilisation des sols du projet DPGT (Développement Paysannal et Gestion des terroirs) au Nord-Cameroun*, Orstom-Cirad, Montpellier, 72 p.
- Sabir M., Roose E., Merzouk A., Nouri A., 1999. Techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte antiérosive dans deux terroirs du Rif occidental (Maroc). *Bull. Réseau Erosion*, Montpellier, 19 : 456-471.
- Seignobos C., 1993. *Hardé et Karal du Nord-Cameroun, leur perception par les populations agro-pastorales du Diamaré*. In : Peltier R.,: Editeur Scientifique, "Les Terres Hardé, caractérisation et réhabilitation dans le bassin du Lac Tchad" Cahiers Scientifiques du Cirad-Forêt n° 11, 121 pages. Nogent-sur-Marne.
- Tchotsoua M., 2008. *De la spatialisation à l'aide pour un développement maîtrisé en milieu tropical. Le cas des hautes terres de l'Adamaoua au Cameroun*. Editions *Le Manuscrit*, Editions Manuscrit Université, 249 p., Paris.

LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE GCES ET DE RESTAURATION DE LA PRODUCTIVITE DES SOLS AU RWANDA

Dr FRANCOIS NDAYIZIGIYE

Géographe, Massey College, Université de Toronto

E-mail: ndafranco@gmail.com

Résumé : Jusqu'au début du siècle dernier, le Rwanda était encore peu peuplé, et le problème de sol ne se posait pas en termes de disponibilité et de productivité ; il y avait encore de nouvelles terres riches à coloniser et la sédentarisation restait aléatoire. Les sols fatigués étaient mis en jachère et se reconstituaient avec le temps. Avec la poussée démographique est apparue l'appropriation des terrains considérés depuis lors comme principale source de moyens de subsistance. Ne pouvant pas abandonner les sols fatigués, les agriculteurs apprirent alors à les aménager en les protégeant contre l'érosion et en les fertilisant pour les rendre encore productifs. Ainsi, ils eurent recours à des techniques visant à ralentir et à infiltrer les eaux de ruissellement (haies vives et fossés), des techniques de gestion des bas fonds inondés (drains et sillons séparant des billons) et différentes méthodes de gestion du sol et sa fertilité (labour grossier, buttes, billons, jachère, utilisation des résidus et déchets de toute sorte, agroforesterie). Par la suite, les pouvoirs publics, conscients de la gravité du problème de dégradation des sols, ont essayé d'imposer des «nouvelles techniques» (fossés isohypses et terrasses radicales). Mais cette intervention fut couronnée par un échec parce que ces techniques ne répondaient pas à la principale attente des agriculteurs qui était d'augmenter la production des biens conséquemment à l'effort fourni. En plus d'être très exigeantes en main-d'œuvre (fossés : 250-350 HJ/ha/an et terrasses radicales : 800-1200 HJ/ha/an), ces techniques se sont avérées catastrophiques sur certains terrains très pentus et peu profonds. Des études faites par différents acteurs (chercheurs, services publics et ONGs) ont permis de voir qu'en combinant les pratiques traditionnelles avec les nouvelles techniques, on peut arriver à conserver de manière durable le sol et à lui assurer une productivité plus soutenue.

Mots clés : Rwanda, dégradation des sols, érosion, techniques traditionnelles, restauration de la productivité des sols.

Abstract: Until the beginning of the last century, Rwanda was still sparsely populated, and the problem of soil did not arise in terms of availability and productivity; there was still new rich land to colonize and settling was random. Tired soils were put fallow and were rebuilt over time. With the demographic surge appeared the appropriation of the land since considered main source of livelihood. Could not abandon the tired soils, farmers learned then to manage them by protecting against erosion and by providing fertilization to still make them productive. Thus, they used techniques to slow and infiltrate runoff (hedge rows and ditches), techniques for managing small marshes (drains and furrows separating plots) and different methods of soil management and fertility (coarse labour, buttes, ridges, fallow, use of residues and wastes, agroforestry). Subsequently, the public authorities, aware of the gravity of the problem of land degradation, have tried to impose "new techniques" (ditches and beach terraces). But this intervention was a failure because these techniques did not meet the main waiting's farmers was to increase the production of the crops accordingly to provide effort. Extra to be very labour - intensive (ditches: 250-350 HJ/ha/year and beach terraces: 800-1200 HJ/ha/yr), these techniques may be very catastrophic in

some very steep and shallow lands. Studies made by different actors (researchers, public services and NGOs) showed that combining traditional practices with new techniques, can maintain a stable soil and provide a more sustained productivity.

Key words: Rwanda, soil degradation, erosion, traditional techniques, soil productivity restoration.

Introduction

Selon les rapports des premiers missionnaires, le berceau du Rwanda actuel était peuplé, déjà au début de ce siècle, de manière remarquablement dense. Malgré les famines et les guerres intestines, la population rwandaise n'a cessé de s'accroître à un rythme extrêmement rapide. En 30 ans, la densité de la population s'est multipliée presque par trois partout dans le pays, passant successivement de 89 habitants par km² en 1948 à 258 habitants par km² en 1978, certaines zones étant plus peuplées que d'autres » (F. Ndayizigiye, 1993). D'après les estimations de la Banque Mondiale, le Rwanda a connu une forte poussée démographique ces dix dernières années et serait aujourd'hui le pays le plus densément peuplé d'Afrique avec une densité moyenne d'environ 400 habitants au km² comme le montre la figure suivante.



L'une des caractéristiques marquantes de la société rwandaise est la très large dissémination de l'habitat d'une grande partie de la population (environ 82%) sur les collines et les plateaux du pays. Les villes ne renferment qu'environ 18% de la population totale. Les vallées et les bas fonds, longtemps réservés à l'élevage et parfois aux reboisements d'eucalyptus, sont aujourd'hui colonisés par une agriculture très intensive (Photo 01).



.EE+ 5H'P882/?*82?M

n4/8?M/ SIMEVIM?A% R*(RM2?/J'??M? ?P3/≠ B* 90# I
 :/* %H8M?8:/ 41%082? :/HM(R?E:E? :8/34 :8E2/82?(N8B?
 828E?TR? B> EB (M?P4:*8'EB> I R M-8E 2 R @P81'./8 (EM
 -E2B/≠ R2>:8E 2 R (N2-8E 2? =8MKA>?) R M?P?E 2 RKEM?8
 R ?M?E8E 2? TR B) K8? I R @E?B 8M (*8") R @M >8?84 2?
 (R? *8R @M81 2 ≡8? 8(*? 2 TR EB-E884R? @S:M28M/8 (EM
 :/* >(8/8 4BE *8/* 2>:8E-E2MR 2 R @M81 2? TRDHE "X



.EE"5 ENZE ?N8M?8M(*8??M?E8X

CE@8P1 ≡8 388E 2 :'/B' 2 8M?82 2M?8E 2 TR R? @M?E8
 'x>: MEMI 2?(N8B? 2 %8E 2 :>E B>(M8/82 :'/8/AR TR/
 (R) 2 M-MIRNBE *82:2%8MR? M2*/8 2? =8MKA>? R (M?E
 2HE?B' 24'/82 (R?*) (R? @M) R?*A88E?? ? TB' :>4? *8R?
 TR 8/88M TR-8? TB24/:?8M? (:4M?82@P? I MB:NME? RE? 4M
 R?(N8B? 828E?TR? B> EB 84:8E2?/* 8E? (E8?I ?EMR? 8-EB? 2
 %8E -E?MEM 2 R:) R? (N8B? 2 %8E 2 TR *8 R? (N8B? 2
 MB:N8E 2 R (N2-8481 2? TRX

1. Les techniques de gestion conservatoire de l'eau

L'agriculture traditionnelle rwandaise est principalement pluviale. Ainsi, pour leur besoin en eau, les cultures dépendent essentiellement de la pluie même si dans les bas fonds, certaines pratiques peuvent être assimilées à l'irrigation. Le fermier doit attendre l'arrivée des pluies pour faire des cultures ; et à certaines périodes de l'année, il doit aussi faire face à une grande quantité d'eau qu'il faut gérer pour le bénéfice des cultures et la sauvegarde de l'environnement en luttant notamment contre l'érosion. Pour ce faire, il a eu recours à diverses techniques qui ont été progressivement améliorées au cours des années pour donner les résultats que l'on connaît aujourd'hui.

a) Des chicanes en mottes d'herbes + haies d'arbustes et graminées aux bandes enherbées + haies vives d'arbustes

En terrain incliné, les paysans réunissaient les herbes arrachées et la terre qui y adhérait en petites mottes disposées en chicanes suivant plus ou moins les courbes de niveau. Ils y plantaient aussi des haies d'euphorbes (*Euphorbia tirucalli* = umuyenzi) ou de grandes graminées (*Hyparrhenia* = umukenke) pour renforcer le système. Après un certain temps, la pente s'atténuait et le paysan en cultivait la partie inférieure, après l'avoir protégée par un fossé. Ce qui ralentissait l'écoulement des eaux et empêchait le ravinement.

Aujourd'hui, ce dispositif a été amélioré en installant, suivant les courbes de niveau et à des écartements différents selon le degré de la pente, des bandes enherbées avec des graminées fourragères (*Sétaria*, *Tripsacum*, *Vetiver*, *Penisetum*) et des haies vives d'arbustes légumineux (*Leucaena*, *Sesbania*, *Calliandra*) à usages multiples (bois de tuteurs, fourrage, engrais vert, paillage).

Ces haies arbustives et bandes enherbées utilisées sur des terrains à faibles pentes (inférieures à 15%) permettent d'obtenir progressivement des terrasses planes avec des talus courts et stables après un temps relativement court (3 à 5 ans) quand les parcelles sont régulièrement cultivées dans le sens de la pente et les structures bien entretenues (tailles et/ou coupes régulières) (Photo 03).



Photo 03 : Bandes enherbées contre l'érosion

b) Des fossés en bordure supérieure des champs aux fossés isohypses cloisonnés renforcés par des bandes enherbées

L'agriculteur a toujours utilisé des fossés soit pour capter et infiltrer l'eau de ruissellement, soit pour évacuer les quantités d'eau indésirables au niveau du champ.

En haut de chaque parcelle, l'agriculteur terminait le labour par un fossé large d'environ 30 cm et d'une profondeur de la hauteur d'une houe (environ 20 cm), dont la fonction principale était de capter et d'infiltrer des éventuels écoulements d'eau venant des parcelles situées en amont, et aussi y déposer de résidus de sarclage qui allaient servir de fumure organique à la saison suivante. Ce fossé pouvait constituer une structure antiérosive même s'il ne suivait pas toujours la courbe de niveau comme le conseillent les spécialistes. Ce fossé était régulièrement détruit et remplacé par un nouveau fossé de même dimension à chaque labour de la saison.

Aujourd'hui, l'amélioration qui a été portée à cette technique consiste en ce que les fossés suivent les courbes de niveau à des équidistances régulières, et sont plus larges (40 cm) et profonds (30 à 50 cm), cloisonnés tous les 5-10 m pour forcer l'eau à s'infiltrer sur place (Photo : 04); et ils sont protégés en amont par une bande enherbée et/ou une haie arbustive qui retient les terres érodées sur la parcelle et permet la formation d'une terrasse progressive obtenue après 5 à 10 ans de culture continue (Photo 05).



Photo 04 : Fossés isohypses cloisonnés



Photo 05 : Bandes enherbées sur fossés

Cependant, cette technique ne peut être utilisée que sur des terrains dont la pente n'excède pas 35% et dont la profondeur du sol atteint 1 m au minimum. Elle ne peut pas être recommandée sur des terrains très pentus et argileux développés sur substrat schisteux ou volcanique. Sur ce type de terrains, l'expérience a montré que les fossés isohypses cloisonnés entraînaient d'importants glissements de terrains qui provoquent d'énormes dégâts sur leur passage et dans les bas fonds. Et en plus de son inefficacité à lutter contre l'érosion, cette technique demande un investissement considérable : environ 300 hommes-jours par hectare pour la mise en place, et 200-250 hommes-jours annuels par hectare pour l'entretien. Cet investissement ne peut pas être rentabilisé sans apports supplémentaires nécessaires pour la mise en valeur des terrains.

Dans ces situations, il a été alors recommandé d'utiliser des haies d'arbuste et/ou d'herbes et des terrasses radicales. Ce qui a été jusqu'ici bien accueilli par les agriculteurs aussi

longtemps qu'ils obtiennent un soutien (même sous forme de prêt) pour la mise en place de ces structures (production de plants d'arbustes et terrassement) et leur mise en valeur (fourniture d'intrants : fumure minérale, semences, produits phytosanitaires).

Même si l'érosion subsiste sur la parcelle entre deux haies, le risque de glissement de terrains a été nettement réduit. Et là où ces structures sont bien entretenues, très peu de sédiments érodés arrivent dans les bas fonds. Avec les terrasses radicales, l'érosion est réduite au minimum acceptable. Ainsi pour toutes ces structures, c'est l'entretien qui garantit la réussite (Photo 06 et 07).



Photo 06 : Champs avec haies d'herbes

Photo 07 : Terrasses radicales en production

c) Des fossés de captage des eaux

Toute l'eau qui tombe sur les toits des maisons, sur les cours environnantes et sur les chemins ruisselle vers le bas côté et constitue une source évidente d'une importante érosion. Ces eaux forment des rigoles qui, peu à peu, se transforment en ravins qui à leur tour, quand elles arrivent dans des terrains friables, forment des crevasses béantes qui rendent désormais la circulation très difficile. Pour limiter les dégâts, les paysans creusaient des fossés non loin de l'habitation pour les eaux ruisselant sur les aires habitées et en bordure des chemins dans le but de capter et d'infiltrer le maximum d'eau, et piéger les sédiments transportés par l'érosion (Photo 08).



Photo 08 : Fossé de retenue d'eau ruisselant sur les toits et cours des maisons

Les chemins sont alors modifiés et protégés par une haie d'herbes (Photo 09).



Photo 09 : Chemin protégé

Une fois que les eaux de ruissellement sont détournées, le ravin devient inactif et est ensuite colonisé par une végétation naturelle qui, cependant, ne bouche pas complètement le ravin (Photo 10).



Photo 10 : Ravin colonisé par des herbes

Ainsi pour corriger correctement les ravins, on utilisera des haies serrées d'arbustes à multiplication rapide et implantation par boutures (*Euphorbia tirucalli*, *Dracaena afromontana*, bambous) au travers du passage des eaux. On y associera également des herbes et des branches pour piéger d'éventuels sédiments transportés par les eaux. Les haies seront distancées en fonction du degré de la pente du terrain.

d) Des fosses le long des chemins

Les eaux ruisselant sur les chemins qui traversent les exploitations sont dirigées dans des fossés antiérosifs là où ils existent ou dans des fosses creusées le long du chemin à intervalle de 10 à 20 mètres selon l'ampleur du phénomène. Elles sont de dimensions modestes (1 à 1.5 m de large et 0.40 à 0.70 m de profondeur) pour des raisons de faisabilité et d'entretien. Ces fosses sont généralement creusées au début de l'année culturale et servent à capter les eaux de ruissellement et les sédiments transportés sur les pistes. Elles sont creusées à l'écart du chemin pour la sécurité des usagers et y sont reliées par une petite rigole. Elles se remplissent en général au cours de deux saisons de pluies (septembre-décembre et mars-juin).

Certains paysans préfèrent planter des rejets de bananiers ou des arbres fruitiers dans ces fosses à moitié remplies au milieu de la deuxième saison de pluie pour faire profiter le plant des riches sédiments accumulés et des eaux des pluies restant à venir dans la saison. D'autres fosses seront alors creusées ailleurs si cela s'avère toujours nécessaire.

Pour d'autres agriculteurs, les fosses vont rester jusqu'à la prochaine saison culturale. Elles seront alors curées au moment du labour et les sédiments piégés seront enfouis dans le sol comme fumure organique.

C'est ainsi que l'on peut observer des paysages densément peuplés où les chemins qui relient les différentes habitations restent stables et cachés derrière une abondante végétation parce qu'ils sont minutieusement contrôlés et entretenus (Photo 11).



115

e) La gestion de l'eau et du sol dans les bas fonds

L'impact de la déforestation sur les sols et l'eau est un enjeu majeur. La perte de la couverture végétale entraîne une érosion accrue et une diminution de la fertilité des sols. Dans les zones de bas-fonds, la gestion durable de l'eau et du sol est essentielle pour maintenir la productivité agricole et protéger les écosystèmes. Des pratiques telles que l'agroforesterie, les cultures de couverture et les techniques de conservation des sols peuvent aider à atténuer ces impacts négatifs.



5A:4%*88287*R?P?@25=8M2('88 E=

LE72/* 24M? (M2%) RNM B' R: 88ER*/8M%:* */ EM/8R?
 MR? 8E R? 3RE? (MR 8M:4R% I 2? M2? 2 ?NR%(EMM/VR?
 =8M?2?PRE?EM8E (MP:MEZ

2. Les pratiques de gestion conservatoire du sol

D'/? R E→ 2 4MVR ER R%48:M * MEM':A2@/8?:4E?
 =8M?I ?4ARREMM?YR=8M/ R8?8/ PRE?8R?8M?8X

a) Le labour grossier

A(MP:/ 20E*/8I R:' 88 E :/* 80 KEM/J.'/8 (? 2M(4:/*
 *(88 4/88) R ER*8REMI REE */ M4M/8R?:88) R(N8'4=
 R?8M?4M/P) *8R ER/JB(?4/8KS/2R(R*'NM) R': (48M2/?R
 ER(MR?8E?R?/?8M/R:88) = B 88R R/888E 2?*:A2 (R* 8
 B>8 RME) (M>R EM 2 (18 2 EXC*8 (M8* 88M:8R4 ?M2?
 8M?/*8?2/?R?ME?2 :88?E7E =84 P:EI R?*(88)EX

b) La culture en buttes

C*8 (M8* 8:8R4 74>R*/8(EMR?8M?I M?BP/MR/4>R*/8
 R:/'E*8R9%)*8(M8(EMR(E* 2 8M) R('88 E= *8R-EE? ?M
 2?ER (* (M8? XL* ER*BM>*/ :/ 9M28?2 8M2/* P? 2/4M+ : 2
 2:18M*82 \$ I , ' = 2 B8:M/ . >EM/E4/82?M2?2 REYI2
 =8ME 2 2482:4%B/2R */'XD'/?R(R'N2?=-) =8PMR? 88
 */ 'E>8E '4=2:8M =8M? 8M8 :<3 EXL? R8? 88 29E4? */
 B/4) = B(1M2 MR8M8R>8M?R?R*/8 */ 88R/8R/888E 2
 R':) *82: >8/MR ER/ (R= 88E\$X



Photo 13 : Culture de manioc sur buttes

c) La culture en billons

Comme les buttes, la pratique des billons est utilisée principalement pour les tubercules notamment le manioc, la patate douce et la pomme de terre mais aussi pour les cultures potagères surtout dans les bas fonds. Traditionnellement, les billons sont souvent faits perpendiculaires à la pente sur des pentes faibles à moyennes, et parfois même on leur donne une légère pente dans les régions où la pluviosité est abondante (Photo 14).



Photo 14 : Culture sur billons : manioc + patate douce

Sur des terrains très pentus (pente supérieure à 35%), spécialement dans le Nord du pays et sur les coteaux des collines, certains agriculteurs font des billons carrément dans le sens de la pente pour donner libre cours aux eaux de ruissellement, parce que les billons perpendiculaires à la pente accumulent les eaux qui, quand il y a rupture de ceux-ci, emportent tout sur leur passage et provoquent d'importants dégâts dans les bas fonds.

d) Les terrassettes

Dans la zone de montagnes du nord et de l'ouest du pays, sur des versants très raides, les paysans utilisent des terrasses étroites (utunyanamo) pour faire des cultures notamment les légumineuses (haricots, petits pois, pois cajan), le blé et la pomme de terre. Il s'agit de labourer des petites bandes de terre perpendiculairement à la pente, larges d'environ 1 à 3 mètres, séparées entre elles par un petit talus. Les cultures sont alternées tout au long de l'année sur différentes parcelles. Le ruissellement et les sédiments provenant des parcelles cultivées en amont sont piégés par les cultures sur les parcelles en aval. Les cultures se succèdent sur les différentes parcelles dans une rotation que les paysans maîtrisent et ils n'oublient pas de faire la jachère (courte jachère sur une saison) quand cela est nécessaire. Cette technique permettait de mieux gérer le sol et les eaux sur ces fortes pentes, mais le grand handicap reste que les sols s'épuisent petit à petit et qu'il faut faire appel aux amendements principalement chimiques (Photo 15).



Photo 15 : Terrassettes sur fortes pentes

3. Les pratiques de restauration de la productivité des sols

a) La jachère

Elle consiste à laisser en repos un champ ou une parcelle pendant un certain temps pour lui permettre la reconstitution naturelle des éléments nutritifs du sol.

Quand un champ ne donne plus assez de production, il est laissé au repos au profit d'une autre exploitation qui a bénéficié d'une jachère ou qui sera gagnée sur la forêt là où elle

existe encore. La jachère se fait avec une végétation naturelle qu'on laisse pousser à l'endroit où on a récolté une culture ou au milieu d'une culture pérenne (arbres fruitiers) ou semi-pérenne (manioc).

- **La jachère longue** permet de rétablir à la fois un bon état structural du sol, des teneurs suffisantes en matières organiques et la disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes. Les champs bénéficiant d'une jachère longue (plus d'une année culturale) servent aussi de pâturage pour le bétail attaché ou libre mais gardé. Dans ces conditions, les déjections animales laissées par le bétail en parcours améliorent la fertilité du sol dans une certaine mesure. L'érosion y est aussi limitée par la végétation à condition qu'il n'y ait pas surpâturage (Photo 16).



Photo 16 : Jachère longue broutée par des chèvres en liberté.

- **La jachère courte** ne dure en général qu'une saison. Le terrain est colonisé par une végétation naturelle mélangée à des résidus de culture (restes de maïs, de sorgho...). La jachère est alors utilisée comme pâturage de courte durée et bénéficie des déjections animales du bétail qui y broute.

La jachère courte est également faite avec des cultures semi-pérennes, c'est-à-dire celles qui occupent le terrain plus d'une saison culturale et dont la technique de conservation consiste à les laisser dans le sol pendant la durée de leur consommation. Il s'agit notamment du manioc, de l'igname et de colocas. Dans ce cas, les animaux ne seront pas autorisés à paître sur la parcelle. S'il y a assez de végétation, elle sera coupée et donnée comme fourrage aux animaux au piquet et à l'étable. Le sol sera enrichi principalement par des remontées chimiques et l'érosion est arrêtée par la végétation qui s'y développe (Photo 17).



Photo 17 : Jachère courte avec manioc

Avec une croissance démographique galopante et une augmentation sans cesse des besoins, la durée de la jachère a progressivement diminué et voire même disparu avec l'émiettement des exploitations dû à l'héritage. Et comme toutes les terres cultivables ont déjà été défrichées, il faut maintenant protéger le peu de terre disponible et intensifier sa productivité par tous les moyens.

b) L'enfouissement des résidus et déchets

Pour les agriculteurs qui n'ont pas de bétail, l'enfouissement des résidus (de culture et labour) et des déchets de ménage (cendres et déchets domestiques et autres déchets pouvant donner des matières organiques) constitue la principale solution pour intensifier la productivité de leur sol. C'est une filière courte (1 à 3 mois) qui permet un recyclage rapide des nutriments contenus dans la biomasse. L'enfouissement a lieu pendant le labour au début de chaque saison culturale (Photo 18).



Photo 18 : Labour avec enfouissement des résidus

Il existe diverses méthodes traditionnelles où l'on ramasse les résidus de labour après qu'ils aient été séchés au soleil, on les dispose en petits tas que l'on recouvre de terre en forme de butte, et que l'on plante ensuite de manioc ou de patate douce (voir plus haut photo 13). Quelquefois, on y associe des cultures à faible enracinement comme le haricot et le pois cajan. A la récolte ces buttes sont détruites et la terre riche en matière organique est répandue alentour. Des enfouissements répétés dans l'année fournissent des matières organiques fraîches qui permettent de maintenir un certain niveau de carbone organique dans le sol, mais leur action sur la fertilité du sol et sur sa résistance à l'érosion, est limitée (E. Roose, 1993).

c) L'utilisation d'excréments humains

Pour certains agriculteurs, les déjections humaines sont éparpillées sur la parcelle et sont couvertes d'herbes pour ne pas attirer des mouches et pour garder la chaleur nécessaire à une fermentation rapide ; elles seront enfouies au labour de la saison suivante.

Aussi, dans une bananeraie qui n'est pas régulièrement cultivée, les agriculteurs creusent de petits trous (environ 50 cm de diamètre et 50 cm de profondeur) au milieu d'une rangée de bananiers et les remplissent avec des excréments humains. Et une fois pleins, les trous sont bouchés avec de la terre et ils creusent d'autres un peu distancés. Au début de la saison de pluie, ils plantent de nouveaux rejets de bananiers dans les vieux trous après avoir mélangé les excréments avec de la terre. Ainsi de suite, ils arrivent à rajeunir régulièrement leurs petites plantations de bananeraie.

Pour d'autres agriculteurs, ils creusent un trou un peu plus grand (50 cm de diamètre et 100 cm de profondeur) à l'extérieur de l'habitation autour duquel ils construisent une hutte non couverte ; parfois même ils le délimitent avec quelques pieux joints entre eux par des roseaux secs pour signaler sa présence. Le trou est utilisé comme latrine pendant environ 6 à 12 mois en mettant des déjections humaines et quelquefois des résidus de labour. Et une fois rempli, il est rebouché avec de la terre et couvert de paille. Il faut alors attendre au moins 12 mois pour ouvrir le trou et avoir de la fumure prête à l'utilisation. Cette fumure est appliquée aux cultures de façon localisée.

d) L'utilisation des cendres

Les agriculteurs ont longtemps pratiqué l'incinération des résidus de labour parce que la cendre obtenue était sensée être riche en éléments minéraux profitables aux cultures. Après qu'ils aient fait sécher les mauvaises herbes et les résidus de culture au soleil, ils les disposaient en petits tas circulaires éparpillés sur la partie la plus pauvre de la parcelle et y mettaient le feu juste avant les premières pluies de la saison. La cendre obtenue était alors mélangée avec le sol au moment du semis.

Quelquefois, quand on a une masse importante de biomasse après le défrichage d'une parcelle, on préfère la brûler sur place et enfuir la cendre pendant le labour.

Cette pratique permet de remonter le pH et de réduire la toxicité aluminique, mais la productivité du sol reste toujours faible sans autres amendements organiques ou chimiques. Quant à la cendre provenant de la cuisine, elle est souvent mélangée avec les déchets ménagers pour faire le compost, mais elle est parfois utilisée directement pour amender les jardins domestiques.

e) Le compostage de biomasse

La pratique de compostage a été longtemps utilisée par les paysans les plus pauvres qui ne possèdent pas de bétail. Pour eux, les compostières au champ est le principal moyen de disposer de fumure organique pour remonter la fertilité du sol. La biomasse provenant du défrichage et les résidus de labour, quand ils ne sont pas directement brûlés, sont entassés dans un creux au milieu du champ ou à côté de celui-ci pour faire le compostage. Plus tard, on y ajoutera les résidus de sarclage. La transformation de la biomasse qui dépend de la nature de celle-ci peut prendre de 6 à 12 mois, et malheureusement, le rendement est très faible quelle que soit la qualité de la biomasse. Ainsi, les champs qui sont amendés de la sorte se dégradent progressivement et deviennent incapables de donner une production suffisante pour subvenir aux besoins élémentaires des paysans. Aujourd'hui, les paysans apprennent à faire un compost amélioré qui est fait d'un mélange de résidus de toute sorte auquel on incorpore la cendre de cuisine, la bouse de vache ou le fumier organique et l'urine animale (Photo 19). Le compostage durera trois semaines et donnera un fertilisant gratuit et biologique alors que les engrais chimiques sont chers et polluants (Fanny, 2010).



Photo 19 : Fabrication du compost avec les résidus de toute sorte/Rda

Pour les agriculteurs disposant de bétail, le compostage était plus ou moins amélioré, mais demandait encore plus de travail. En effet, il faut creuser deux fosses assez larges (environ (4x2x1) m) près de l'habitation, couper et transporter la biomasse pour la litière et le fourrage des animaux, ramasser ensuite la litière mélangées avec les déjections animales et les ordures ménagères et les mettre dans la première fosse. Une fois la fosse remplie, les déchets et les déjections animales seront transférés dans la deuxième fosse en prenant soin de les mélanger uniformément et seront bien couverts pour garder la chaleur nécessaire à la fermentation. La compostière doit être couverte, mais quelquefois elle est creusée à l'ombre d'un arbre autochtone (Ficus, Markhamia, Erythrina...) pour entretenir une ambiance fraîche et humide qui favorisait la fermentation et la décomposition rapide du compost (Photo 20).



Photo 20 : Une compostière près de l'habitation

Chez les agriculteurs disposant d'un nombre important de cheptel ou ceux qui ne pouvaient pas faire des compostières souvent par manque de main-d'œuvre, la litière et les déjections animales étaient ramassées et directement déposées au champ et couvertes de paille pour entretenir une certaine chaleur qui va accélérer la décomposition. Elles étaient ensuite réparties uniformément sur le champ et enfouies pendant le labour sans attendre qu'elles soient complètement décomposées. Ainsi, le paysan savait bien que cette fumure ne profitera pas pleinement à la culture de la première saison, mais que les cultures de la saison suivante pourront en bénéficier (Photo 21).



Photo 21 : Litière et déjections animales entassés au champ

Notons que cette pratique était souvent utilisée quand l'agriculteur voulait associer des cultures parmi lesquelles il y en a celles qui ont un cycle végétatif dépassant une saison culturale : par exemple une association incluant le manioc ou certaines variétés de patate douce à très long cycle végétatif et les légumineuses (haricot, soja) et/ou les céréales (maïs, sorgho) .

f) Le paillage

Au Rwanda, le paillage a toujours constitué la technique la plus répandue et la plus efficace dans la culture du bananier et du caféier depuis son introduction dans les années 1930. Ceci est d'autant plus facile que le bananier produit lui-même la biomasse nécessaire à son paillage : les feuilles mortes, troncs de bananiers récoltés ou résidus d'entretien fournissent une masse importante de biomasse utilisée pour le paillage de la bananeraie et du caféier; et quelquefois, une partie sert de fourrage pour animaux surtout pendant les mois très secs (Juillet-Août) (Photo 22).



Photo 22 : Bananeraie bien paillée.

Là où le paillage est bien fait, la restitution des éléments au sol est évidente de manière que les paysans font certaines cultures dans la bananeraie sans devoir procéder au labour. Par exemple dans de l'Est du pays (Kibungo), certains agriculteurs sèment le haricot à la volée ou dans de petits trous dans une bananeraie bien entretenue ; ils ne sarclent pas parce qu'il n'y a pas de mauvaises herbes qui poussent, et ils reviennent seulement pour récolter, et la production est importante.

Quand le paillage est épais, non seulement il restaure la fertilité du sol, mais aussi permet de lutter contre l'érosion du sol. C'est une filière courte pour restituer la totalité de la biomasse et les nutriments qui la constituent (K, Ca, Mg, C, d'abord par lessivage, N et P à mesure de la minéralisation et de l'humification à travers la méso et la microfaune). La disparition de la litière est 30 % plus lente que lorsque la matière organique est enfouie par le labour (E. Roose, 1992).

Le paillage était aussi fait avec des résidus de culture notamment de haricot, de soja, de petit pois que l'on utilisait pour couvrir les billons après la plantation du manioc ou des ignames dans une association de légumineuses sur des parcelles se trouvant à proximité de l'habitat. Ce type de paillage était très bénéfique parce que non seulement il maintient plus longtemps une bonne infiltration des eaux en même temps qu'une bonne activité de la

mésafaune, mais aussi il apporte des éléments nutritifs ainsi que des matières organiques fraîches au sol qui améliorent sa structure et réduit l'érosion.

g) L'agroforesterie

Depuis longtemps, l'agroforesterie est l'une des caractéristiques du paysage rwandais. L'arbre a toujours fait partie du paysage rural avec toute l'importance qui lui revient. Il fournit du bois de construction et de chauffage, de la biomasse pour le fourrage, le compost, le paillage et le tuteurage du bananier et les cultures grimpantes, des écorces à usages multiples (cordage, vêtements traditionnels...)

Traditionnellement, on laissait des arbres et arbustes autochtones se développer sur les exploitations pour leurs qualités médicinales et leur capacité à produire du bois et assez de biomasse à chaque élagage qui a lieu annuellement dans le but d'améliorer la productivité des sols (Photo 23).



Photo 23 : Agroforesterie traditionnelle avec des arbres à usages multiples

Le *Ficus thininguii* (Umuvumu) est l'arbre autochtone le plus rencontré dans le paysage rwandais. On le trouve sur les enclos et au milieu des champs où il matérialise un ancien emplacement d'une habitation ou une limite de l'exploitation. Ses branches sont régulièrement coupées pour qu'elles ne fassent pas d'ombrage aux cultures. La biomasse sert d'engrais vert ou à la fabrication du compost et le bois obtenu est utilisé comme tuteurs pour les cultures grimpantes (haricot volubile, petit pois, igname, maracuja). Une fois l'arbre coupé, le tronc servait à la fabrication des barques, des ruches, des mortiers-pilon, des cuves de fermentation du vin de bananes... et l'écorce était utilisée pour faire des vêtements (impuzu) et des cordes pour la construction des maisons des chefs.

Beaucoup d'autres arbres comme *Vernonia amygdalina* (Umubilizi), *Markhamia lutea* (Umusave), *Erythrina abyssinica* (Umuko), *Acacia hockii* (Umunyinya)... sont maintenus dans le paysage pour leurs qualités médicinales en plus de leur bienfait sur les sols.

Des arbustes autochtones sont utilisés dans des haies bordant les grands chemins et séparant les différentes propriétés (Photo 24).



Photo 24 : Haies d'arbustes autochtones sur un chemin

Les espèces souvent rencontrées sont *Dracaena afromontana* (*Umuhati*), *Tetradnia riparia* (*Umuravumba*) et *Euphorbia tirucalli* (*Umuyenzi*). Ces haies sont régulièrement taillées, la biomasse produite est retournée au sol comme engrais vert et le bois est utilisé comme tuteurs pour les cultures grimpantes (haricot volubile, igname, petit pois).

Notons que là où les haies sont orientées perpendiculairement à la pente, elles permettent aussi de fixer le sol et de lutter contre l'érosion.

Aujourd'hui, un grand nombre d'arbres et arbustes exotiques sont utilisés dans l'agroforesterie. Parmi les arbres, le plus rencontré est le *Grevilea robusta* qui est estimé pour sa croissance rapide et ses usages multiples : il produit une grande quantité de biomasse pour le compost, du bois de chauffe et des tuteurs lors de ses nombreux élagages, et du bois d'œuvre une fois récolté.

Parmi les arbustes, les plus utilisés sont : *Leucaena* et *Calliandra*. Ils ont une croissance rapide et se prêtent aussi à de multiples usages. Utilisés dans les haies antiérosives, ils fournissent une importante biomasse riche en azote (100 à 125 kg/ha/an sur des haies distantes de 10m) qu'on peut soit enfouir directement dans le sol comme engrais vert, soit appliquer comme paillage ou mettre dans la compostière (Ndayizigiye, 1993). Dispersés sur la parcelle, ces arbustes fournissent aussi une grande quantité de biomasse, mais surtout du bois de chauffe et les tuteurs.

Conclusion

L'agriculture au Rwanda reste aujourd'hui la principale source de moyens de subsistance pour une très grande partie de la population. Plus de 80% des gens vivent en milieu rural. Et pour survivre, ils n'ont que très peu de terre (moins d'1ha par famille) et les techniques modernes (mécanisation, irrigation...) sont quasi inexistantes. A cela, il faut ajouter la diversité du milieu caractérisée par des fortes pentes et des pluies quelquefois agressives.

Depuis longtemps, les paysans ont cherché à maîtriser leur environnement pour en tirer plus d'avantages, mais les techniques utilisées n'ont pas suffi pour maintenir un niveau acceptable de productivité des sols face à la croissance de la population et le manque de terres cultivables.

L'intervention des pouvoirs publics a souvent échoué parce qu'ils n'ont pas d'abord cherché à comprendre le fonctionnement du monde rural. Confiant dans les solutions proposées (fossés antiérosifs, terrasses radicales, haies arbustives), ils ont sous-estimé les techniques traditionnelles et surévalué la capacité paysanne pour l'adoption des innovations. Ce qui a, dans la suite, amené certains agriculteurs à se montrer réticents voire hostiles envers ces réformes agraires (destruction des ouvrages antiérosifs : fossés et haies vives).

Face à ce constat, des études approfondies ont été menées par l'Institut des Sciences Agronomiques du Rwanda (ISAR) et des ONG impliquées dans le domaine de l'agriculture pour mieux comprendre le fonctionnement de ces différentes techniques traditionnelles et modernes. Les résultats obtenus convergent vers une même recommandation à savoir qu'aucune technique ou méthode culturale n'est en mesure d'appréhender le problème de gestion conservatoire de l'eau et de restauration de la fertilité des sols sur l'ensemble du pays, une combinaison de techniques et méthodes traditionnelles et modernes doit être associées pour chaque situation.

Références :

- **Byers, A., 1990.** Preliminary results of the RRAM Project soil loss and erosion control trials, Rwanda, 1987-1988, in *IAHS-AISH*, Publ. n° 192, 1990. Tropical Research & Development, Gainesville, Florida 32607, USA
- **Charlery de La Masselière, B., 1992.** Le resserrement de l'espace agricole au Rwanda. Les paysans dans la crise, *Études rurales*, Métallurgie à la campagne, n° 126/127.
- **Fanny, B., 2010.** Rwanda. Formation des paysans à la fabrication de compost, sur blog.hdh.org/mondialisationssnsolidalites/?post
- **König, D., 1992.** L'agriculture écologique agro-forestière. Une stratégie intégrée de conservation des sols au Rwanda in *Bulletin Réseau Erosion*, IRD Montpellier, n° 12 : 130-139.
- **Meschy, L., 1989.** La colline et le marais. La gestion des bassins versants au Burundi et au Rwanda, in *Études rurales*, n° 115/116, juillet-décembre 1989.
- **Ndayizigiye F., 1992.** Valorisation des haies arbustives dans la lutte contre l'érosion en zone de montagne (Rwanda). *Bull. Réseau Erosion*, IRD Montpellier, 12 :120-129.
- **Ndayizigiye, F., 1993.** La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols au Rwanda. Analyse des techniques antiérosives et de leurs effets sur la productivité des terres. Thèse de doctorats, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 230 p.
- **Ndindabahizi, I. et Ngabije, R., 1991.** Evaluation des systèmes d'exploitation agricole pour une régionalisation des techniques de conservation et d'amélioration de fertilité des sols. Rapport d'une mission de consultation réalisée du 15-01-1991, Kigali, avril 1991.
- **Nyamulinda, V., 1989.** Les méthodes autochtones de conservation des sols dans les régions du Ruhengeri. Leur nature et leur mode d'insertion dans la trame actuelle de lutte contre l'érosion. *Bulletin Agricole du Rwanda* n° 1 : 3-15.

- **Roose E., Ndayizigiye F., Nyamulinda V., Byiringiro E., 1988.** La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive pour le Rwanda. *Bull. Agricole du Rwanda*, 21, 4 :264-277.
- **Roose, E., Ndayizigiye, F., Sekayange, L., Nsengimana, F., 1992.** La gestion conservatoire de l'eau et la fertilité des sols (GCES) : une nouvelle stratégie pour l'intensification de la production et la restauration de l'environnement en montagne. *Bulletin Réseau Erosion*, 12.
- **Roose E., Ndayizigiye F., Sekayange L., 1993.** L'agroforesterie et la GCES au Rwanda. *Cah. ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 327-350.
- Roose, E., 1993.** Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale, sur <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:38729>
- **Roose, E. et Ndayizigiye, F, 1997.** Agroforestry, water and soil fertility management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda, *in Soil Technology*, vol.11:109-119.
- **Wassmer, P., 1981.** Recherches géomorphologiques au Rwanda: Etude de l'érosion des sols et de ses conséquences dans la Préfecture de Kibuye. Ph.D. thesis: Université Louis Pasteur, Strasbourg.

Provenance des photographies :

- Photo 01 : <http://www.radio.canada.ca/radio/radiomonde/index.asp?>
- Photo 02 : <http://icra-edu.org/page.cfm?pageid=publicfrenchrwanda>
- Photo 03 : in F. Ndayizigiye, 1993 : Thèse de doctorat, ULP, Strasbourg, France
- Photo 04 : Diallo M.S., 2010 online <http://blog.fdh.org/mamadou/>
- Photos 05: <http://blog.fdh.org/mondialisonsno-solidalités/?post/Au-Rwanda%2C-pes-paysans-modèlent-les-collines-pour-y-développer-l-agriculture-paysanne-!>
- Photo 06 : <http://lizandrichardsa.typepad.com/africa/e-rwanda---trekking-to-see-the-gorillas/>
- Photo: 07 : http://www.ifad.org/operations/projects/regions/pf/rwanda/pgerb/gallery/pages/pgerb_c3e.htm
- Photos 08, 09, 10 : <http://blog.fdh.org/mondialisonsno-solidalités/?post/Au-Rwanda%2C-pes-paysans-modèlent-les-collines-pour-y-développer-l-agriculture-paysanne-!>
- Photo 11 : <http://www.beneluxnaturephoto.net/forumf/index.php?topic=75739.0>
- Photo 12 : <http://www.orinfor.gov.rw/printmedia/news.php?type=fr.&volumeid=135&cat=28&storyid=3814>

-Photo 13 : wn.com/uganda_cassava

-Photos 14 : labs.harvestchoice.org/.../

-Photo 15 : <http://www.linternaute.com/voyage/afrique/photo/un-epoustouflant-survol-de-l-afrique/un-gout-d-asie-shtml>

-Photo 16 :

<http://www.orinfor.gov.rw/printmedia/news.php?type=fr.&volumeid=135&cat=28&storyid=3814>

-Photo 17 : BetucoCA>albums>Rwanda manioc cassava

-Photo 18 : Jihane, 2009 : <http://blog.fdh.org/jihane/>

-Photo 19 : <http://blog.fdh.org/mondialisonsnossolidalites/?post/Au-Rwanda%2C-pes-paysans-modèlent-les-collines-pour-y-développer-l-agriculture-paysanne-!>

-Photo 20 : <http://rwandaonthewing.blogspot.com/2011/01/organic-agriculture-and-composting-in-html>

Photo 21 : www.internationalreportingproject.org/.../1469/

-Photo 22: <http://www.orinfor.gov.rw/images/news/insinahat>

-Photo 23 : <http://www.guatemalapasopaso.blogspot.com/2011/04/un-voyage-dans-un-voyage-le-rwanda.html>

-Photo 24 : <http://bachersblog.com/?p=868>

T h è m e 2

Influence de la lutte antiérosive sur la dynamique de l'eau de la parcelle au bassin versant

La majorité des aménagements et des techniques antiérosives ont été conçues pour dissiper l'énergie des pluies de petite et moyenne importance : soit en améliorant l'infiltration, soit en stockant les eaux dans la rugosité de la surface du sol ou dans diverses cavités sur le versant et/ou dans les vallées. Mais les problèmes majeurs d'érosion adviennent lors des averses majeures, ou lors des pluies rares ou cycloniques. Ces aménagements (fossés, banquettes, canaux de contour) généralement débordent et entraînent des dégâts considérables sur les versants et en aval.

Dans cette section, sont définis les phénomènes pluvieux extrêmes, avec leur hauteur, leur durée, leur intensité maximale (dans les Caraïbes et dans le Var en France). Les conséquences sur les côtes touristiques (Martinique), en milieux urbains (en Algérie, en Haïti) et sur les aménagements traditionnels ou modernes (en Algérie) sont décrites.

Enfin, divers auteurs ont étudié l'influence des arbres (au Sahel), le surpâturage et du paillage (sous bananeraie en Martinique) sur la maîtrise des flux hydriques et de l'érosion sur fortes pentes (à Madagascar). Quant au surpâturage, il entraîne la dénudation et le compactage du sol ce qui augmente les débits des crues, le ravinement, ainsi que le transfert de fertilité.

Caractéristiques des fortes pluies et des cyclones sur les Antilles Perspectives en liaison avec le réchauffement climatique

Reyal Max

Direction Inter-régionale de Météo France aux Antilles-Guyane

Courriel : max.reyal@meteo.fr

Résumé

Le but de l'exposé est de présenter les caractéristiques des fortes pluies des Antilles à l'origine de dégâts tels que inondations, glissements de terrain, forte érosion des sols.

- Une première partie présente rapidement les caractéristiques générales de la circulation atmosphérique des Antilles, les saisons, les perturbations intéressant la zone telles que les cyclones mais également les ondes tropicales, les perturbations pluvieuses d'inter-saison, ces deux derniers types de perturbations pouvant générer (on l'oublie parfois) des quantités de pluies plus importantes que les cyclones.
- Une deuxième partie donne quelques éléments statistiques concernant les pluies : normales, cumuls extrêmes, durées de retour de cumuls extrêmes, de même que quelques éléments statistiques sur les cyclones (période de survenance, pic de saison, durée de retour en fonction de l'intensité du cyclone, etc...).
- Une troisième partie fera le point sur ce qu'on peut dire pour la zone Caraïbes quant aux effets du réchauffement climatique sur les caractéristiques des cyclones et des pluies extrêmes.

Mots clé : Antilles, cyclones, ondes tropicales, intensité, fréquence, changement climatique

Abstract

The objective of this paper is to present characteristics of cyclonic rainfalls at the origin of erosion, floods and mass movements in the French West Indies.

In the first part the general conditions of atmospheric circulation are presented: seasons, cyclones but also tropical storms and inter seasonal rainstorms which can produce more quantity of rains as cyclones.

Then, some statistical characteristics of rains will be presented : normal and maximal values, frequencies, period of cyclones occurrence and intensities.

Finally, we will conclude about the influence of climate change in the Caraibe area on the characteristics of cyclones, hurricanes & other strong rainstorms

Keywords : West Indies, cyclones, tropical rainstorms, intensity, frequency, climate change

1. Caractéristiques générales des pluies aux Antilles

1.1. Généralités

Il est connu que les pluies tropicales sont généralement plus importantes en quantité et en général plus intenses que celles des latitudes tempérées.

Il pleut par exemple environ 650 mm en moyenne à Paris, 723 mm à Nîmes (dont 120mm en octobre) contre environ 2000 mm sur un site comparable de basse altitude comme celui de l'aéroport du Lamentin en Martinique.

En dépit de cumuls annuels en général plus faibles, on observe parfois dans certaines régions tempérées comme les régions méditerranéennes soumises plus fréquemment aux pluies convectives, des fréquences de forte intensité de pluie du même ordre de grandeur que celle des latitudes tropicales.

Par exemple, les fortes pluies à durée de retour de 5 ans sont :

- à Nîmes : 71mm (soit 71 litres /m²) en 3h et 82mm mm en 6h
- à Fort-de-France (Martinique), 90 mm en 3h et 120 mm en 6h.

Avec une durée de retour de 10 ans, on enregistre :

- à Nîmes 90 mm en 3h et 109 mm en 6h
- à Fort-de-France 105 mm en 3h et 140 mm en 6h.

1.2. Variabilité spatio-temporelle des pluies tropicales : relief, convection, averses, orages, tornades

Une caractéristique importante des pluies aux Antilles est la forte variabilité spatio-temporelle du fait :

- du relief souvent accentué pour les îles montagneuses (Sainte-Lucie, Dominique, Martinique, Guadeloupe pour les Petites Antilles, Grandes Antilles)
- de la nature le plus souvent convective des pluies, provenant donc de nuages dit convectifs. Ces nuages à fort développement vertical mais de faible dimension horizontale donnent des pluies sous forme d'averses qui ne concernent le plus souvent que des régions limitées contrairement aux pluies de type stratiforme plus classiques dans les pays de climat tempéré (pluies plus régulières dans le temps et l'espace). Les plus actifs de ces nuages convectifs présentent un très fort développement vertical (jusqu'à plus de 15 km d'altitude) et génèrent alors des orages. Les plus violents de ces orages sont susceptibles de provoquer des tornades ou des trombes marines.

La figure 1 montre la position des deux îles françaises de la Guadeloupe et de la Martinique et donne une idée de leurs dimensions ainsi que les reliefs

La figure 2 indique le schéma de la convection classiquement forcée au vent des reliefs. Elle se manifeste par des cumuls de pluie plus importants sur les flancs Est des reliefs aux Antilles du fait des vents dominants d'alizé venant de l'Est.

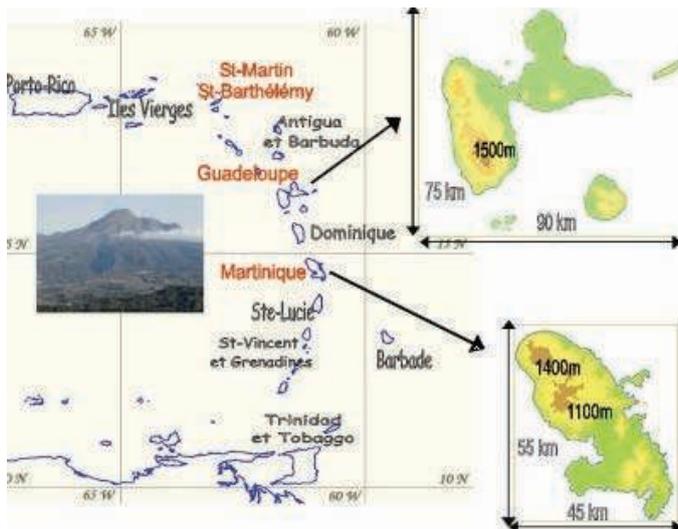


Figure 1 : Position de la Guadeloupe et de la Martinique et dimension spatiale de ces deux îles.

Origine des précipitations

- Advection
- Convection
- Effet de continentalité
- Effet orographique ou effet de Foehn.

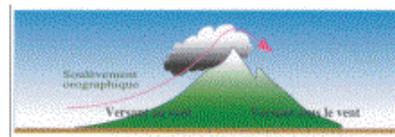
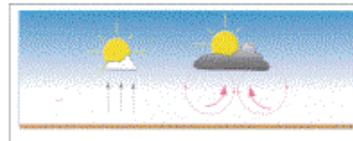
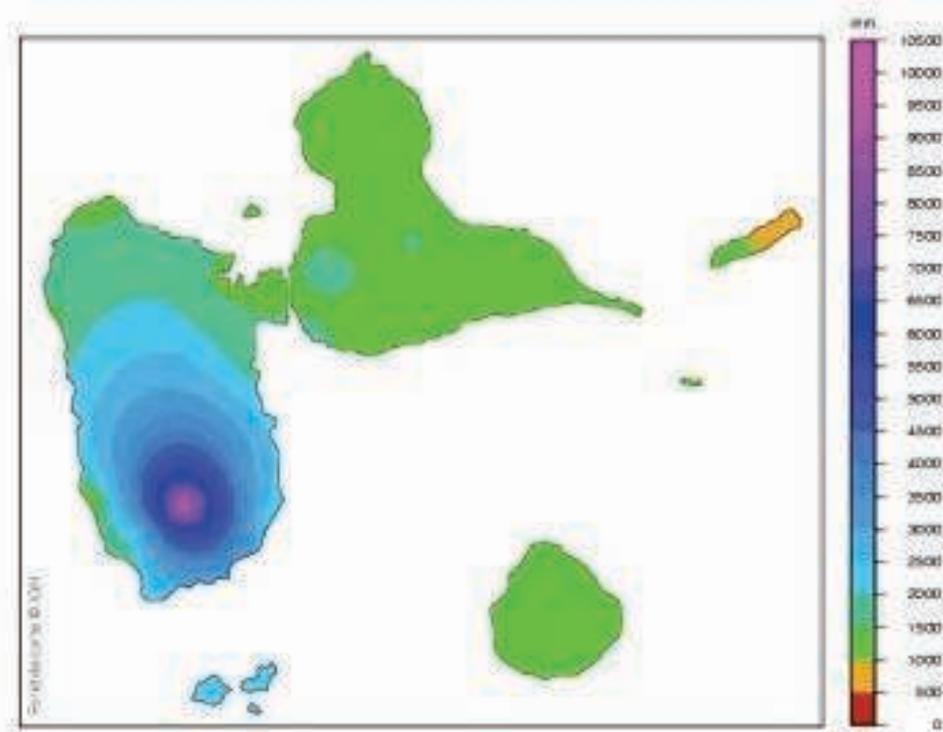


Figure 2 : schématisation d'un nuage convectif et de la convection forcée au vent du relief .



Figure 3 : Pluviosité moyenne annuelle en Guadeloupe (en mm) sur la période 1971-2000



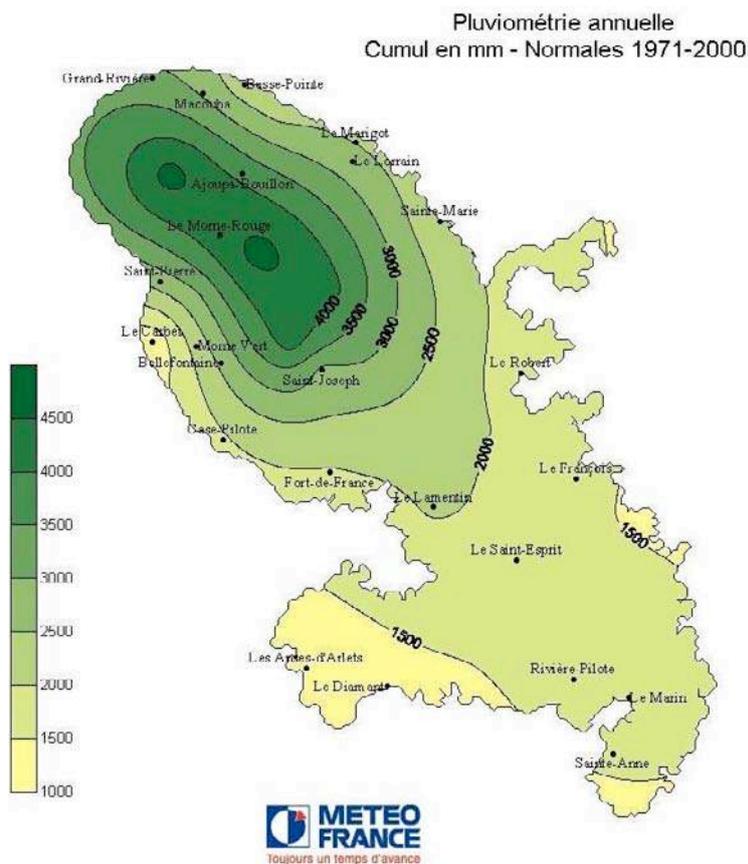


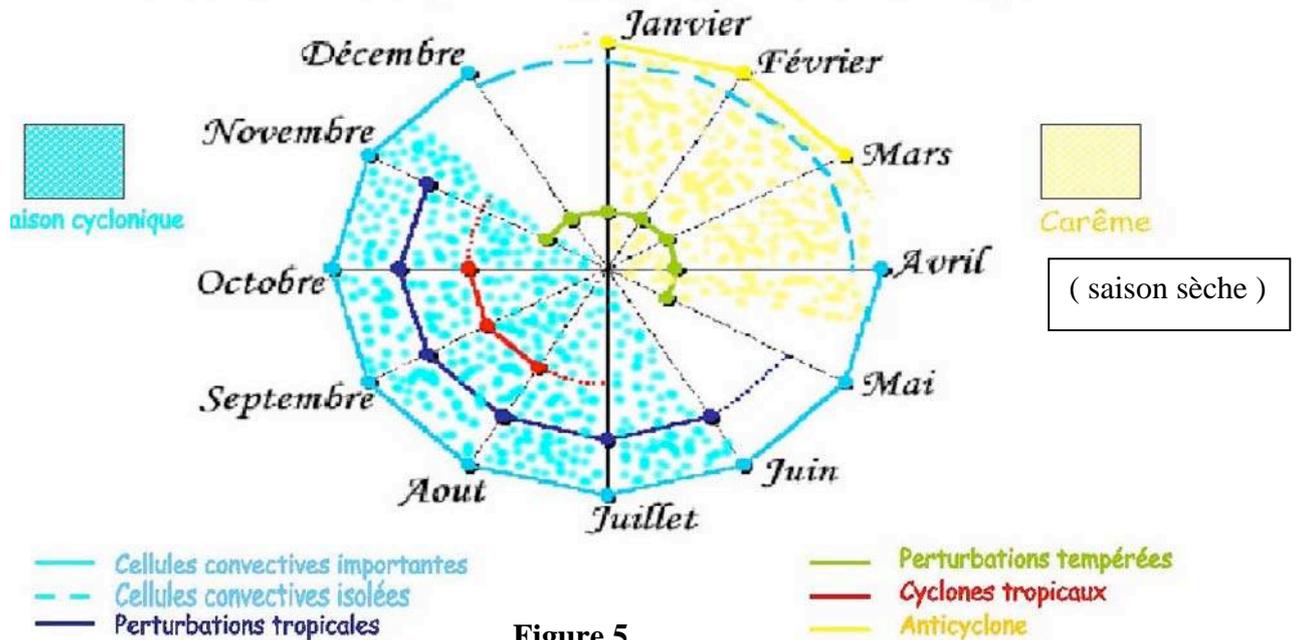
Figure 4 Pluviosité moyenne annuelle en Martinique (en mm) sur la période 1971-2000

Les figures 3 et 4 représentent la cartographie de la pluviosité moyenne annuelle en Guadeloupe et Martinique et la nette corrélation entre relief et cumuls moyens annuels de pluie.

1.3. Les saisons

La saison des cyclones ou saison des pluies va de juillet à novembre. Les mois de février et mars constituent le cœur de la saison sèche ; les épisodes pluvieux importants y sont extrêmement rares. Entre les deux, existent des périodes de transition.

Périodes d'observations des phénomènes météorologiques influençant le temps sur la Martinique et la Guadeloupe



La figure 5 schématise les phénomènes météo (orages, cyclones etc..) susceptibles de se produire en fonction de la période de l'année.

Les fortes précipitations, les épisodes pluvieux en Guadeloupe.

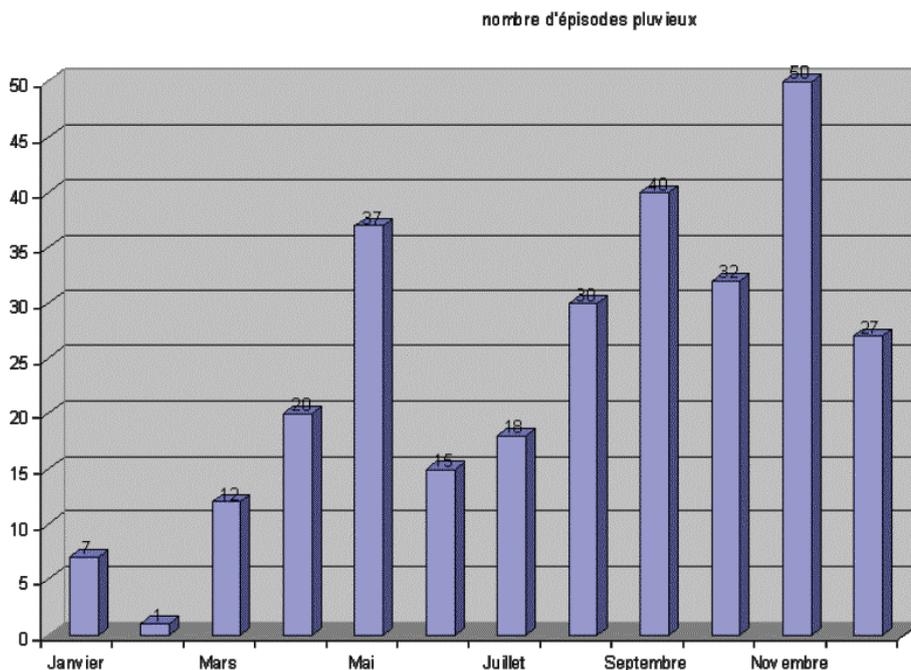


Figure 6 : nombre d'épisodes fortement pluvieux en Guadeloupe sur la période 1971-2000.

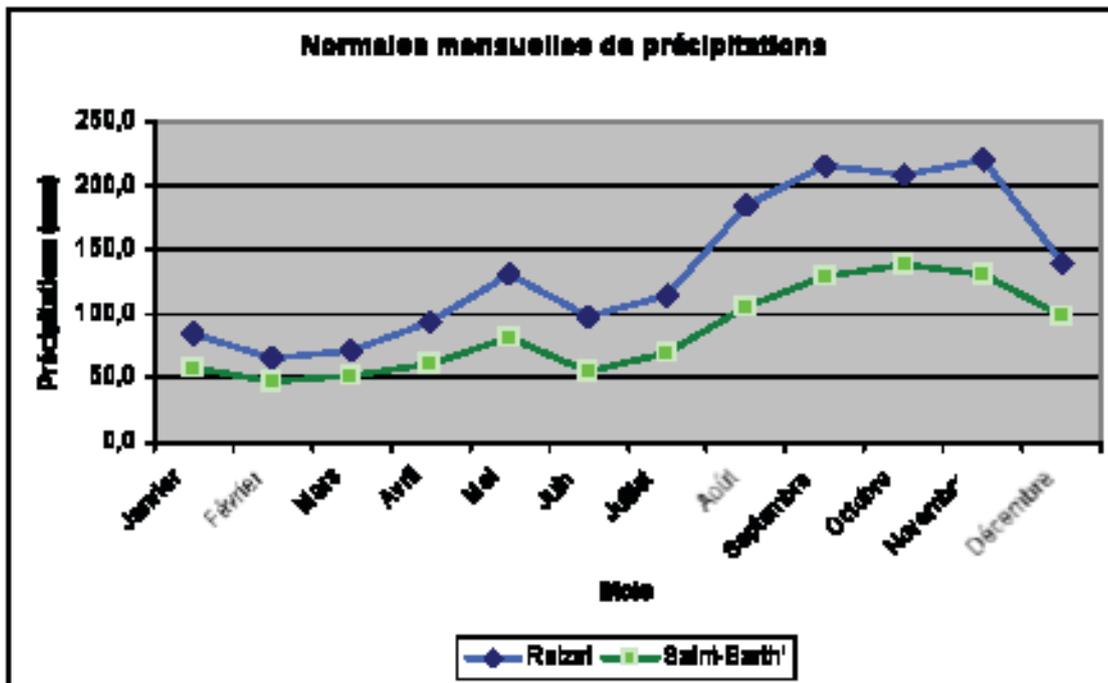


Figure 7 : cumuls moyens mensuels de pluie (normales) en mm sur deux sites en Guadeloupe : Raizet (plaine) et St Barth (site côtier sec)

La figure 6 ci dessus visualise la répartition durant l'année du nombre d'épisodes de fortes pluies avec plus de 100mm / 24h hors sites de montagne sur au moins 3 postes de la Guadeloupe hors région montagneuse sur la période 1971-2000.

La figure 7 indique les cumuls moyens de deux stations en Guadeloupe : Le Raizet Aéroport (site de plaine « continental ») et la Désirade Météo (site côtier sec). On constate que le mois de mai, même si il n'est pas très pluvieux en moyenne, connaît un nombre très important d'épisodes de fortes pluies, supérieurs à des mois de saison des pluies. Cela veut dire que les pluies, quand elles tombent, sont plus intenses en moyenne. Ce mois de mai a donc des caractéristiques spéciales : il est globalement assez sec mais il engendre aussi des épisodes de pluies dangereux tout aussi fréquemment voire plus que les mois de saison des pluies.

Durant les mois de saison des pluies d'août à novembre, les pluies sont logiquement plus fréquentes, avec de plus forts cumuls mensuels, mais avec en général des intensités de pluies moins importantes en moyenne que mai. Les épisodes de fortes pluies sont rares en saison sèche avec un seul cas en février de 1971 à 2000 (7 février 1991 avec chute de grêle au Raizet).

Il serait plus intéressant d'effectuer des statistiques non pas mensuelles, mais par décade car des changements de temps importants se produisent en cours de mois.

1.4. Les perturbations potentiellement fortement pluvieuses intéressant les Antilles

Les ondes tropicales ou d'Est (du fait de la nature ondulatoire des vents et du déplacement d'est en ouest) sont les perturbations potentiellement fortement pluvieuses de la saison des pluies aux Antilles. Elles sont issues des lignes de grains africaines. On en observe en moyenne entre 50 et 70 dans une année sur une vaste zone de l'Atlantique tropical entre l'Afrique et les Antilles (cf figure 8 qui montre 4 ondes tropicales matérialisées par le trait rouge) mais seules 10 à 12 d'entre elles donnent en moyenne de forts épisodes pluvieux sur les Antilles Françaises durant une année.

Les plus actives des ondes tropicales se transforment en cyclones, terme générique désignant les perturbations tourbillonnaires des latitudes tropicales générant des vents forts (tournant autour du centre de basse pression) des fortes pluies, de la forte

houle et marée de tempête. Les figures 16 et 17 page 13 montrent la structure d'un cyclone. Ces derniers donnent en général les intensités et les cumuls de pluie les plus importants mais une onde tropicale forte peut donner des intensités et des cumuls plus importants qu'un ouragan. On observe en moyenne 10 cyclones sur l'Atlantique tropical, une très grande majorité provenant du renforcement d'ondes tropicales.

La durée de retour du passage d'un cyclone (à partir du stade de tempête tropicale) à moins de 150 km de la Guadeloupe ou de la Martinique est de l'ordre de 3 ans.

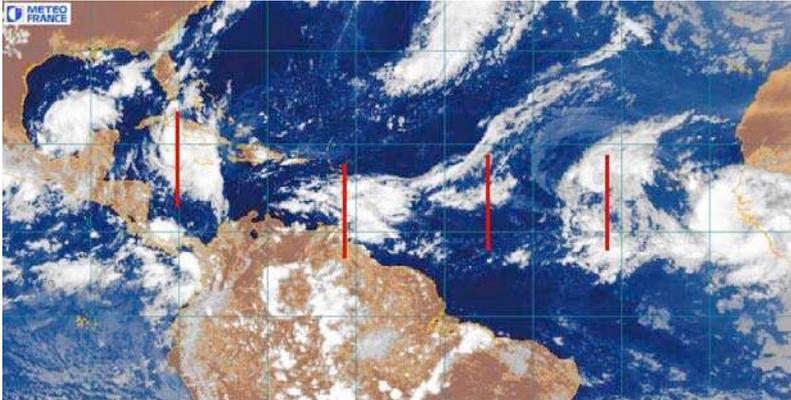


Figure 8 : quatre « ondes tropicales » (perturbation classique de saison des pluies) matérialisées par les traits rouges

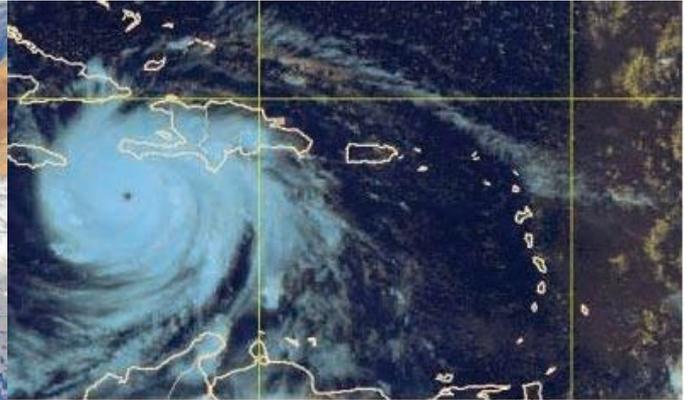


Figure 9 : le cyclone Dean le 19 août 2007 avec des vents de plus de 200 km/h.

La figure 9 montre le cyclone Dean le 19 août 2007, 48h après son passage sur les Antilles Françaises au stade d'ouragan avec des vents moyens de plus de 200km/h.

Enfin, il ne faut pas oublier les perturbations d'intersaisons qui sont susceptibles de donner des fortes intensités et des cumuls importants. Ces mois d'intersaisons potentiellement dangereux le sont d'autant plus que les cumuls de pluies sont moins importants en moyenne mais avec une forte variabilité d'une année à l'autre, cette forte variabilité temporelle pouvant conduire à un relâchement de la vigilance. Exemple, du 30 avril au 6 mai 2009, une perturbation a donné en Martinique des cumuls de pluie exceptionnels de près de 600mm en 6 jours (durées de retour supérieures à 50 ans), essentiellement en deux fois 24h, près 300mm dans la nuit du 30 avril au 1er mai et près de 300mm à nouveau le 5. On a enregistré des intensités exceptionnelles de près de 250 mm en 3h comparables à celle pouvant être générée dans les cyclones. Tout ceci est à rapprocher d'une normale mensuelle de l'ordre de 200mm.

Ceci donne une idée des intensités de pluie pouvant être générées par les perturbations hors cyclone. On peut également citer mai 2004 en Haïti où des pluies diluviennes ont provoqué des milliers de morts. Durant ce même mois de mai, la Martinique a subi des pluies très importantes durant près de 10 jours.

Le mois de novembre est également propice aux fortes intensités hors cyclones : le 27 novembre 1999 on relève en Martinique jusqu'à 87 mm en 1h, 162 mm en 3h, 291 mm en 12 h et 293mm en 24 h.

2. Eléments statistiques concernant les pluies et fortes pluies aux Antilles

2.1. Cumuls de pluies mensuels moyens aux Antilles Françaises

Le terme consacré est la normale mensuelle. Ce tableau visualise la variabilité des pluies sur 4 sites d'un territoire exigu comme la Martinique qui ne fait que 1100 km². Les cumuls varient d'un facteur 4 pour des sites distants de moins de 30 km. Est aussi inclus le site particulièrement pluvieux de haute altitude de Guadeloupe qui connaît la même forte variabilité spatiale des pluies que la Martinique. Il s'agit du poste de la Soufrière Dent-de-l'Est à 1450m d'altitude.

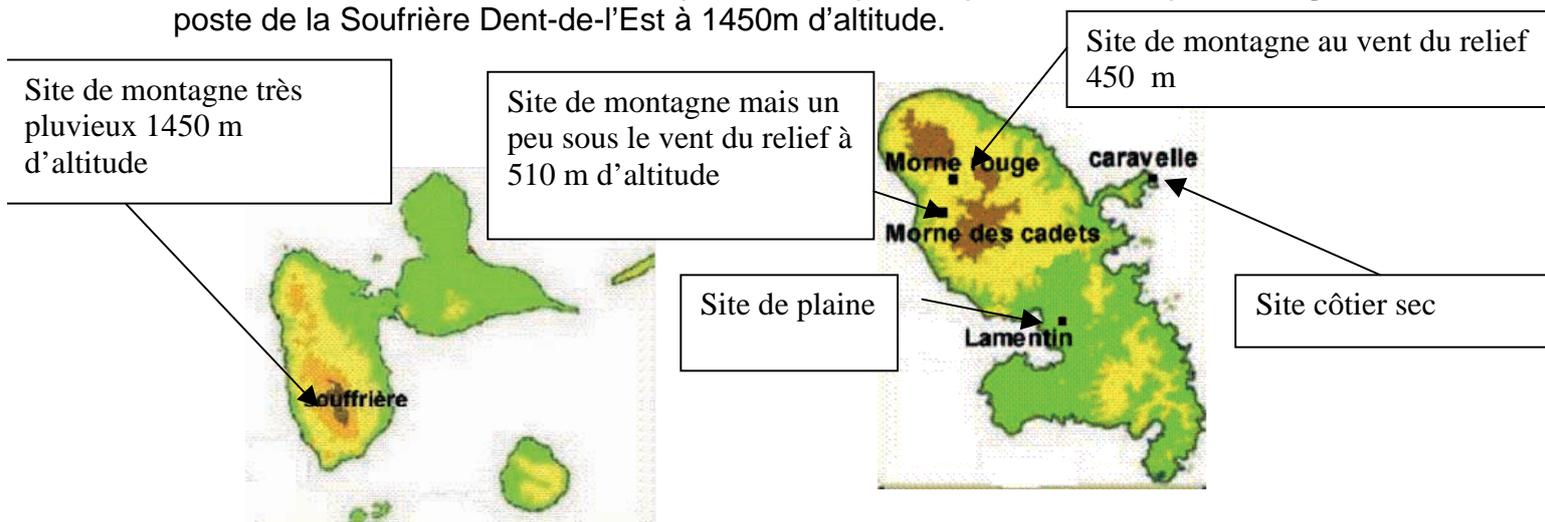


Tableau 1 : normales des pluies mensuelles sur 4 sites de la Martinique et 1 site très pluvieux de montagne de la Guadeloupe

Site /caractéristiques	Mois												Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
côtier sec Martinique (Caravelle)	48	38	49	49	72	72	71	101	112	170	125	74	981 mm
Site plaine Martinique (Lamentin)	123	89	90	100	113	153	182	267	239	263	267	160	2048 mm
Montagne Martinique (Morne des cadets)	268	169	150	135	143	226	338	387	333	315	329	243	3036mm
Montagne Martinique (Morne Rouge)	355	235	227	226	254	319	429	493	464	437	502	389	4329 mm
Montagne Guadeloupe (Soufrière)	104	648	759.	702.	867	785	868	806	924	854	1121	864.4	10238mm

2.2. Caractéristiques des intensités de fortes pluies

L'intensité est un paramètre important pilotant les conséquences des fortes pluies : érosion, inondation, glissement de terrain. Il est clair que 100mm tombés en 10 jours n'ont pas les mêmes conséquences que 100mm tombés en 1h.

Les pluies précédemment tombées sont également à prendre en considération : 100mm tombés sur sol sec n'ont pas les mêmes conséquences que 100mm tombés

24h après 300mm. La durée de retour est le paramètre le plus utilisé pour caractériser la fréquence des pluies intenses cumulées sur des pas de temps en général de 1h à plusieurs jours. Il s'agit de la période de temps moyenne qui sépare la survenance de la valeur. La nature des sols est également à prendre en compte entre ruissellement et infiltration. Exemple, la tempête tropicale Jeanne en septembre 2004 n'a pas eu les mêmes effets en Guadeloupe et en Haïti pour des cumuls et intensités de pluies similaires.

Le tableau 2 donne les durées de retour pour un cumul sur 24 h de 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans pour les mêmes sites du tableau 1. Par exemple, pour le site de Morne Rouge, la durée de retour pour un cumul de 244mm en 24h est de 20 ans.

Tableau 2 : durées de retour des cumuls en 24h pour 3 sites de la Martinique et 1 site de la Guadeloupe

Site	Durée de retour en années					
	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Côtier sec, Martinique (Caravelle)	119 mm	144mm	169mm	185 mm	205mm	234mm
Plaine Martinique (Lamentin)	138 mm	172 mm	210 mm	235 mm	270 mm	325 mm
Montagne Martinique côte ouest (Morne des Cadets)	129mm	154mm	183mm	201mm	226mm	263mm
Montagne Martinique (Morne Rouge)	179mm	210m	244mm	267 mm	299mm	348mm
Plaine Martinique (Lamentin)	138 mm	172 mm	210 mm	235 mm	270 mm	325 mm
Montagne très pluvieux en Guadeloupe (Soufrière Dent de l'Est)	310 mm	360 mm	425 mm	452 mm	480 mm	517 mm

Mais il est souvent nécessaire de descendre à des pas de temps de cumul inférieurs à 24h pour qualifier les fortes pluies du fait en particulier de la taille (souvent petite) et de la réactivité des bassins versants des îles des Antilles.

Les figures ci-dessous 10 à 13 indiquent les durées de retour pour des pas de temps de cumuls allant de 6 minutes à 4 jours pour les sites déjà cités : 3 sites de la Martinique - un site de montagne mais un peu sous le vent(Morne des Cadets) , un site côtier relativement sec (Caravelle), un site intermédiaire de plaine (aéroport du Lamentin), un site de montagne très pluvieux de haute altitude en Guadeloupe (La Soufrière Dent de l'Est).

Figure 10

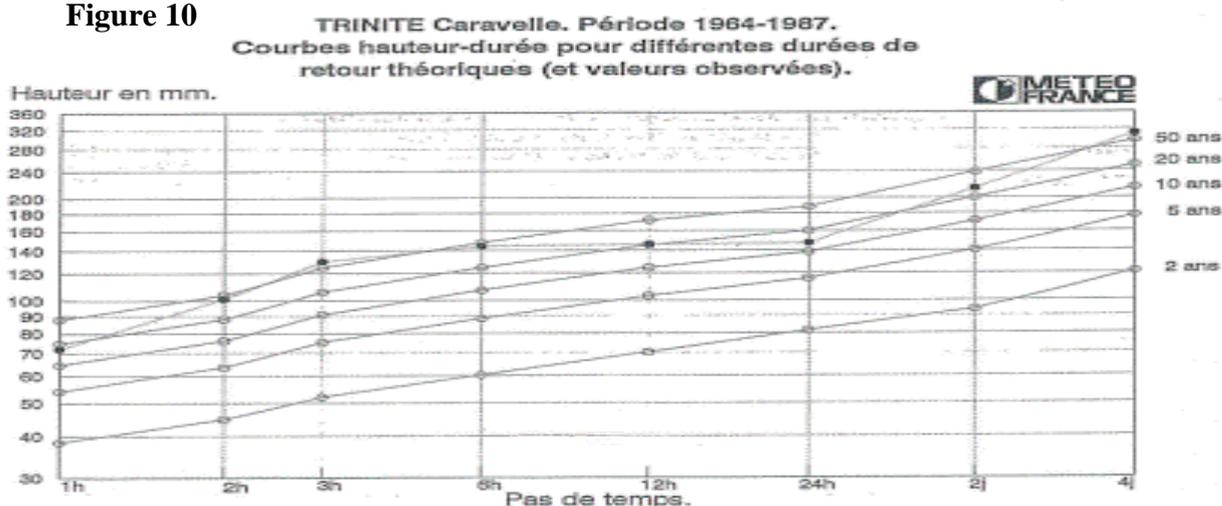


Figure 11 LE LAMENTIN Aéroport. Période 1955-1993.
 Courbes hauteur-durée pour différentes durées de retour théoriques (et valeurs observées).

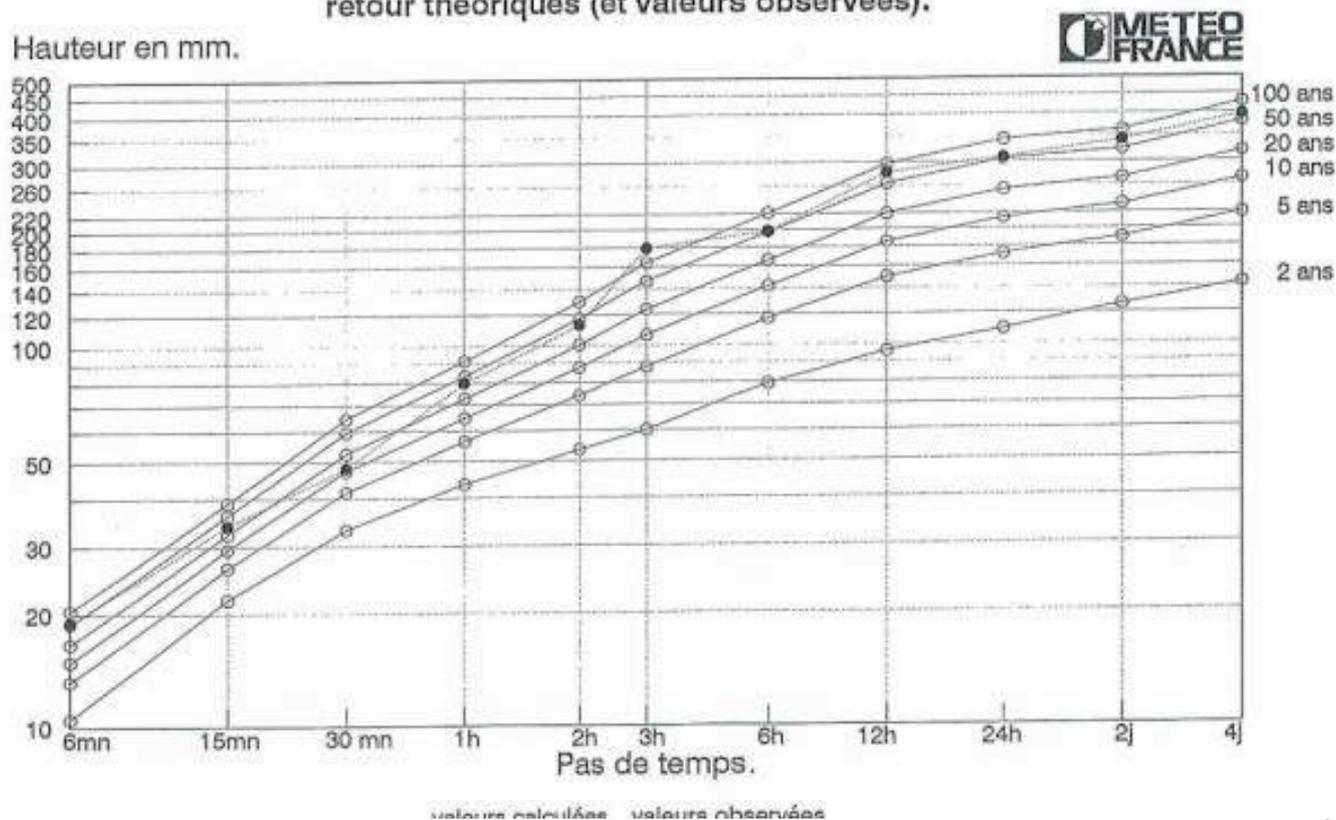
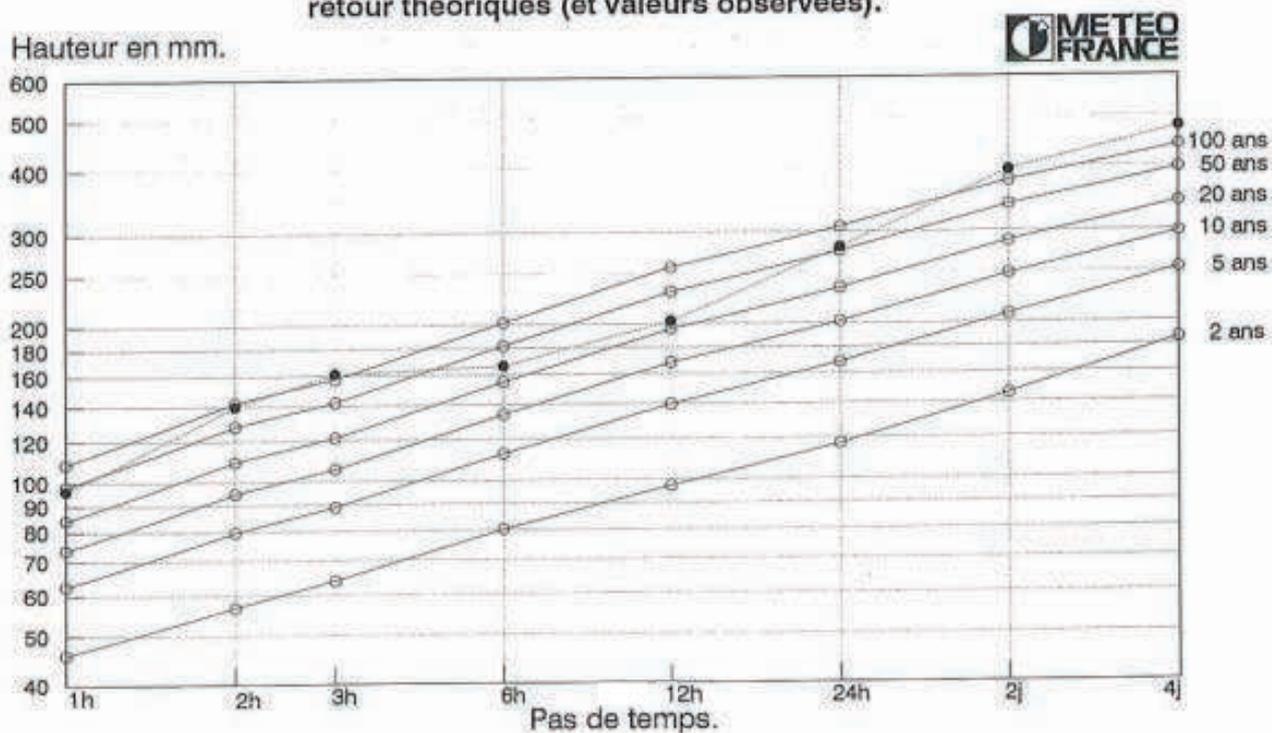
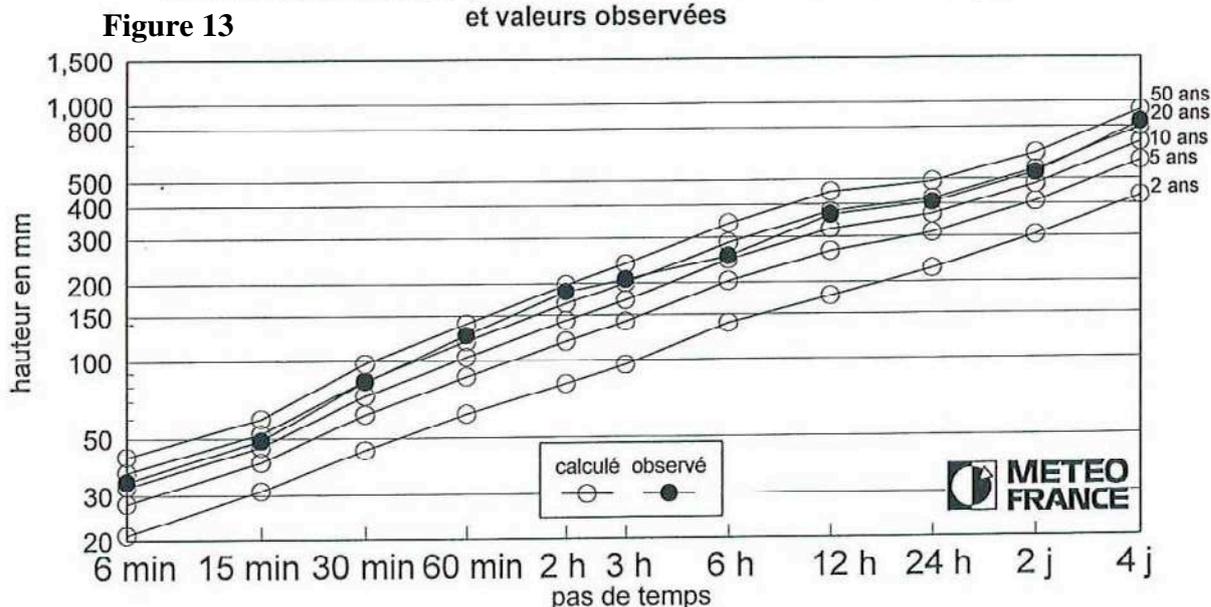


Figure 12 F. St DENIS M.des Cadets. Période 1966-1993.
 Courbes hauteur-durée pour différentes durées de retour théoriques (et valeurs observées).



DENT DE L'EST-SOUFRIERE-1983/1994 (12 ans)
 Courbes hauteur-durée pour différentes durées de retour théoriques
 et valeurs observées



5. Evolutions prévisibles compte tenu du réchauffement climatique

5.1. Généralités

En préambule, il faut savoir que la confiance dans la prévision climatique à long terme est moindre s'agissant de la pluie que s'agissant des températures.

Avant d'essayer de dégager une tendance sur une longue période, il est nécessaire de s'assurer de la cohérence des mesures utilisées et de disposer de données de qualité dites homogénéisées au risque d'avoir des **conclusions faussées**. C'est l'objectif de la procédure d'homogénéisation des données qui est utilisée à Météo-France. Les postes les plus représentatifs sont sélectionnés, pour ensuite détecter les éventuelles ruptures chronologiques et éliminer les valeurs aberrantes. Une fois les anomalies filtrées, des corrections sont appliquées pour corriger ces ruptures et conduire à des séries homogénéisées débarrassées des signaux parasites non représentatifs de l'évolution climatique.

5.2. Les pluies

5.2.1 Observations :

Au cours de la période 1965-2005, on a observé une augmentation des pluies de l'ordre +3% en moyenne en Martinique, ce qui n'est pas significatif. En Guadeloupe, le travail est en cours pour homogénéiser les données et ainsi calculer une tendance. Celle ci semble toutefois être à une baisse des précipitations.

5.2.2 En prévision :

Il est attendu des pluies, toutes origines confondues, un peu moins fréquentes en moyenne sur les Antilles, mais avec des intensités plus fortes du fait de l'augmentation des températures.

5.3. Activité cyclonique

5.3.1 Observations :

Aucune tendance claire ne se dégage quant au nombre de cyclones tropicaux qui se forment chaque année sur l'ensemble du globe et il est difficile de retracer avec certitude une évolution à long terme, surtout avant 1970.

Concernant la région des Antilles, il est actuellement difficile de détecter, dans la climatologie des cyclones sur l'Atlantique nord tropical, un signal d'augmentation de l'activité depuis plusieurs décennies. En effet, les bases de données ne sont pas assez fiables et souffrent du manque d'homogénéité due aux évolutions technologiques. **On détecte plus de cyclones actuellement avec des moyens plus sophistiqués dont les produits satellite nouvelle génération issus de capteurs plus performants embarqués à bord des satellites. Il faut donc faire attention à des conclusions hâtives.** Même s'il est notable que depuis 1995, cette activité est en progression, cela serait plus vraisemblablement dû à la variabilité d'un cycle naturel de l'ordre de 20/25 ans (cf figure 14). La figure 15 montre **un nombre de cyclone sur l'ensemble du globe à peu près constant.**

Figure 14 : nombre annuel de cyclones sur l'atlantique tropical et moyenne glissante sur 5 et 10 ans.

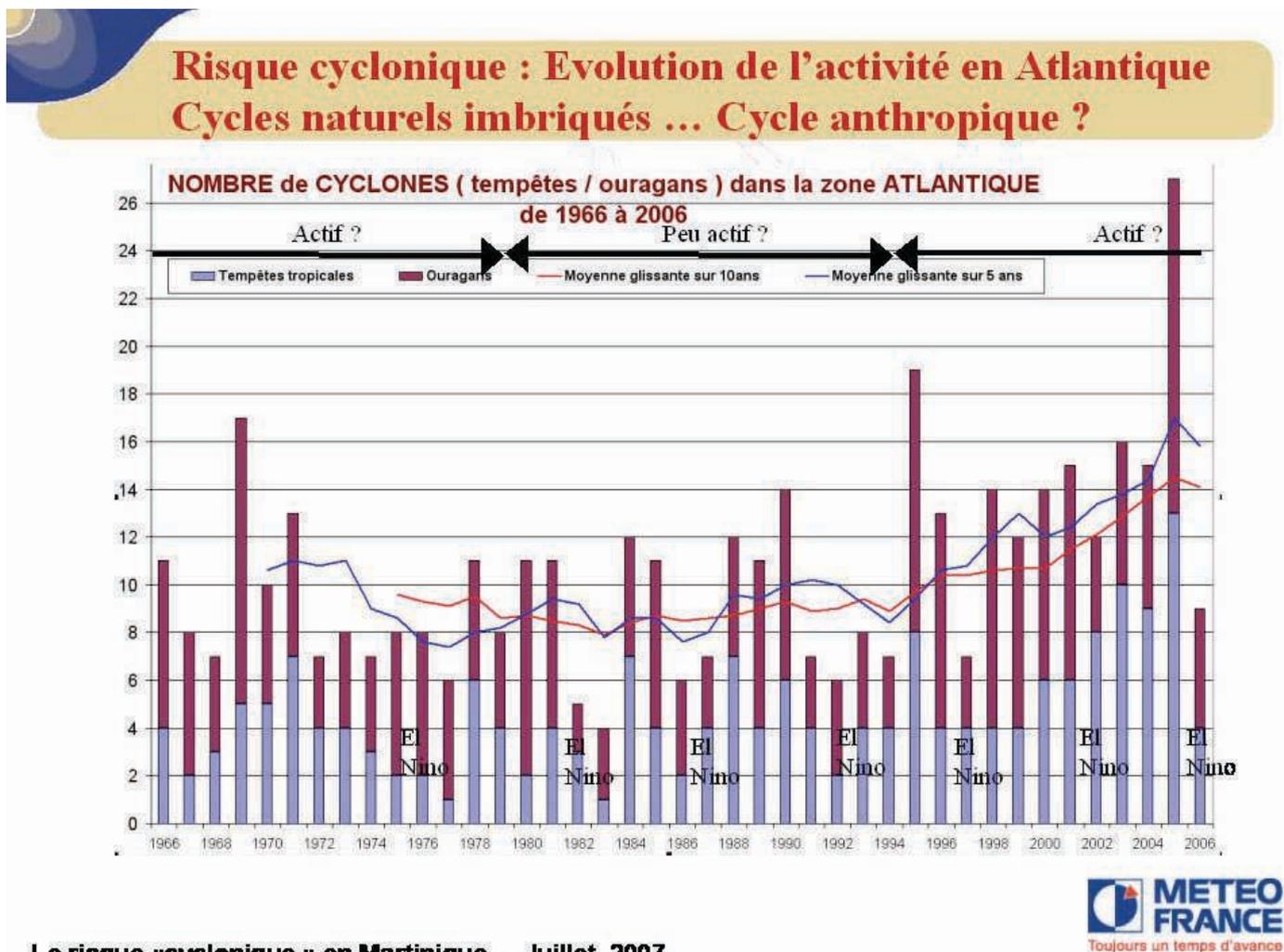
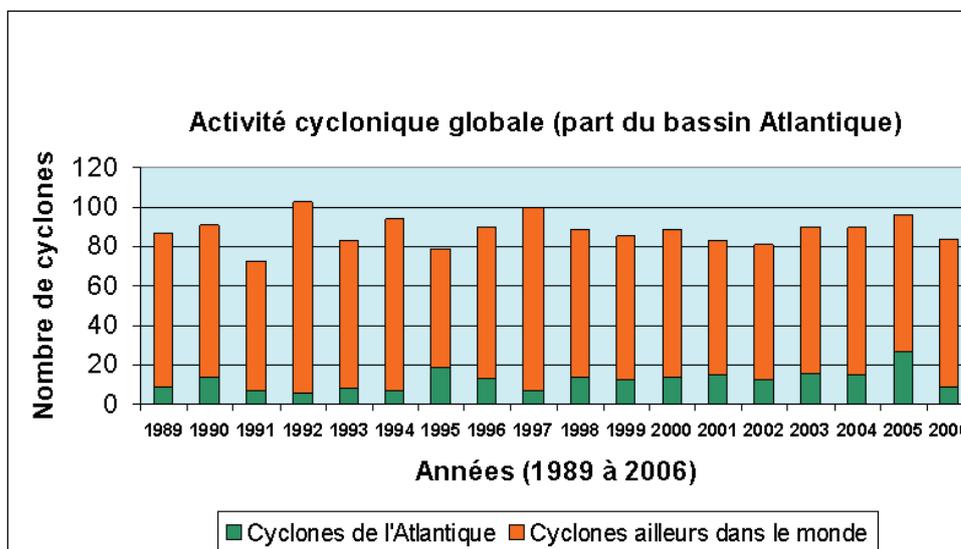


Figure 15 : nombre annuel de cyclone sur l'ensemble des bassins cyclonique de la planète entre 1989 et 2006.

Cyclones et réchauffement climatique



La proportion du nombre de cyclones sur l'Atlantique dans l'activité mondiale est passée de **8-9 %** au début des années 90 à **16 %** en 2004 (2005 : **27 %** 2006 : **10 %**).

Le nombre de cyclones reste stable sur l'ensemble de la planète autour de 90/100 environ depuis de nombreuses années maintenant.



5.3.2 Prévisions :

La hausse des températures pourrait vraisemblablement favoriser des cyclones tropicaux un peu plus intenses en force de vent et en précipitations, mais pas forcément en nombre.

On retiendra surtout que les conséquences en termes d'activité cyclonique devraient être complexes avec peut-être peu de changements globaux mais des évolutions régionales diverses (déplacement des trajectoires ou des zones de cyclogénèse) en fonction d'autres facteurs tels que les changements de vents d'altitude (importance du cisaillement) ou des courants marins (variation dans le Gulf Stream)

Figure 16 : schématisation et définition des termes concernant les cyclones tropicaux (dépression et tempête tropicale, ouragan)

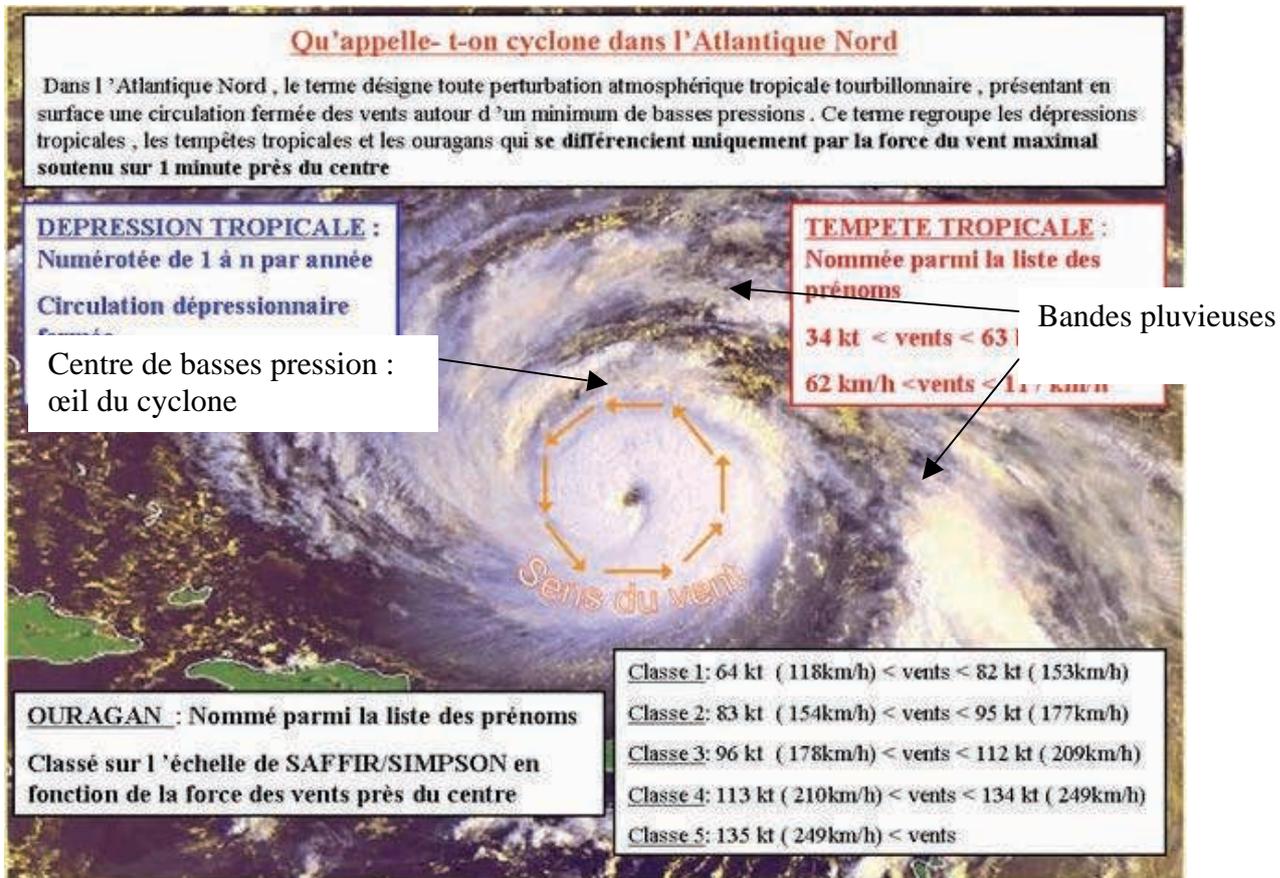
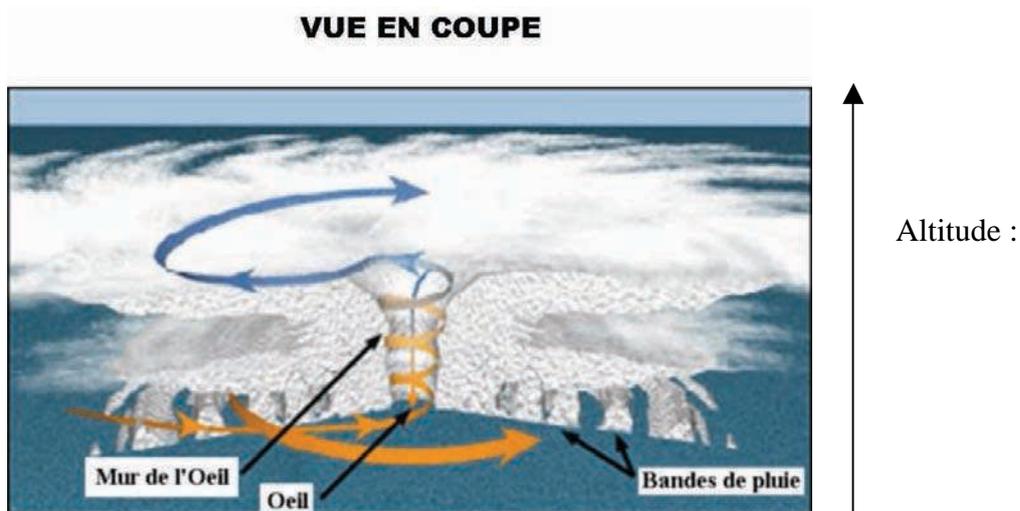


Figure 17 : coupe verticale d'un cyclone tropical



L'Observatoire Caraïbe-HYCOS : exemple de coopération transfrontalière sur les ressources en eau

Alain Laraque⁽¹⁾ , Jean Pierre Bricquet⁽²⁾, Bernard Thébé⁽³⁾

(1) Institut de Recherche pour le Développement - BP 64501, 34394 Montpellier Cedex 5, UMR 5563
Tél:+33 (0)4 67 91 72 60; Fax : +33 (0)4 67 91 72 69; Courriel : alain.laraque@ird.fr

(2) Institut de Recherche pour le Développement - BP 8006 - 97259 Fort de France, France; UMR 5569

Tél: + 33 (0)5.96.59.17.18 ; Fax: +33 (0)5.96.50.32.61; Courriel : jean-pierre.bricquet@ird.fr;

(3) retraité de l'IRD - bthebe@free.fr,

Résumé

Le projet Caraïbes-HYCOS est un observatoire concernant le suivi du cycle hydrologique sur l'arc insulaire caribéen. Véritable programme de coopération transfrontalière sur les ressources régionales, il a pour but d'évaluer ces dernières, de suivre leurs évolutions spatio-temporelles, d'améliorer leur gestion au bénéfice des populations locales et in fine de favoriser l'émergence d'une communauté d'hydrologues caribéens, jusqu'alors inexistante.

Mots-clés : Caraïbes, observatoire hydrologique, ressources en eaux, risques

Introduction

La récente catastrophe (certes imprévisible) qui vient de s'abattre sur Haïti remet en lumière à la fois le besoin de se doter de réseaux de surveillance de l'environnement et de développer des coopérations régionales transfrontalières dans ce secteur et en particulier dans celui touchant le cycle de l'eau. Cet exposé concernant la création d'un réseau hydrologique caribéen, est un peu en amont des préoccupations du colloque, mais comme nous le savons, la connaissance des ressources en eau et de leur comportement est une composante clé pour la bonne adaptation et application des techniques antiérosives. Le mode opératoire et les difficultés de mise en route de cet observatoire pourraient avantageusement servir au montage d'autres observatoires dans les domaines connexes de la pédologie, comme pour favoriser l'émergence d'autres communautés scientifiques régionales.

La phase préliminaire du programme Caraïbe-HYCOS a débuté en mars 2008 après plusieurs années de préparation. Ce projet contribue à l'évaluation, au suivi et à la gestion des ressources en eau (en quantité et qualité) de l'arc insulaire des Caraïbes. A ce titre, il s'insère dans la constellation des programmes régionaux HYCOS (fig. 1) menés à l'échelle mondiale dans le cadre du WHYCOS (World Hydrological Cycle Observation System), sous l'égide de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale).

Ce programme d'envergure régionale, soutenu par les Collectivités Territoriales de la Martinique (Conseil Régional; Conseil Général) et par le FEDER (Fonds Européen de Développement Régional gérés par la Préfecture), est piloté par l'IRD en Martinique. Le Centre Régional du Projet qui y est hébergé recueille les informations provenant des îles partenaires, obtenues à partir d'un réseau de stations hydrologiques de référence. Ces données sont homogénéisées puis centralisées dans une banque régionale, facilement consultable par les utilisateurs. Leur circulation sera promue ainsi que le transfert de technologies, la formation et par voie de conséquence l'émergence d'une communauté d'hydrologues à l'échelle des Caraïbes.

Cette nouvelle approche régionale des ressources en eau permet d'une part, d'établir leurs « états des lieux » et d'autre part, de mieux étudier pour mieux les prévoir, leurs évolutions spatio-temporelles. N'oublions pas que les cours d'eau sont les témoins des perturbations naturelles (éruptions volcaniques, glissements de terrain...), et anthropiques (pollutions diffuses et accidentelles...) ou d'origine mixte (climat...). Leurs rejets dissous et solides affectent le « bassin » circonscrit de la mer des Caraïbes d'environ 2 millions de km², dont les fragiles écosystèmes littoraux jouent un rôle crucial dans les économies locales (pêche, tourisme...). Il est à espérer qu'une meilleure connaissance et compréhension des causes et des conséquences de ces évolutions permettra d'en assurer une meilleure maîtrise au bénéfice des populations locales.

Caraïbe-HYCOS œuvre ainsi dans le domaine de l'environnement et du développement durable. Les questions autour de l'eau concernent en particulier les dimensions environnementales « Pollution et qualité des milieux », « Ressources naturelles », « Risques naturels et anthropiques » et constituent une composante incontournable de tout dispositif de préservation des sols et des écosystèmes terrestres.

A plus long terme, un des apports le plus porteur de Caraïbe-HYCOS est la disparition des barrières nationales, facilitant ainsi l'approche intégrée de la gestion des ressources en eau. Le partage de l'information, la création de centres d'excellence régionaux et la mise en place de programmes de formation et d'éducation amélioreront très significativement la manière dont la région Caraïbe considèrera les questions de ressources en eau au cours de ce nouveau millénaire.

I. Rappel du concept général de WHYCOS

Le concept de Système Mondial d'Observation du Cycle Hydrologique (WHYCOS pour World Hydrological Cycle Observing System) a été développé par l'OMM afin de renforcer, à leur demande, la capacité de ses états membres à acquérir, archiver et utiliser les données sur leurs ressources en eau. L'objectif de développement de WHYCOS est de fournir une base scientifique pour l'évaluation des ressources en eau, leur développement et leur gestion sur un mode intégré, intersectoriel et international. Il a pour but de faciliter les collaborations entre groupes régionaux d'Etats membres. Le concept de WHYCOS est mis en place au travers d'une approche à deux niveaux, totalement intégrés, dans laquelle WHYCOS fournit le cadre et la stratégie générale et les différents HYCOS assurent la mise en œuvre du projet au niveau d'un bassin ou d'une région, en réponse aux besoins spécifiques des utilisateurs finaux des données hydrologiques. Un certain nombre de HYCOS sont aujourd'hui opérationnels et d'autres sont en cours de conception. Les

composantes régionales de WHYCOS (fig. 1) – telles que Caraïbe-HYCOS doivent agir comme outils pour l'amélioration de la collecte, de la diffusion et de l'exploitation de données hydrologiques de qualité, standardisées et pertinentes au niveau des états, des bassins, des régions et au niveau international. La quantité d'eau disponible, tout comme sa qualité sont importantes et les données collectées doivent être facilement accessibles aux utilisateurs à partir d'une base de données reliée aux réseaux de communication internationale (Internet) pour le bénéfice des différents secteurs socio-économiques. L'initiative WHYCOS fournit une base idéale et un cadre pour la coopération régionale dans le suivi et l'évaluation des ressources en eau, pour le développement intégré et la gestion de ces ressources au niveau de la communauté, du bassin, du pays, de la région, du continent et au niveau global. WHYCOS contribue à l'acquisition des connaissances sur les processus hydrologiques dans leur interaction avec le climat et l'environnement et encourage l'échange de données entre les secteurs d'activités dans le but d'un développement durable.

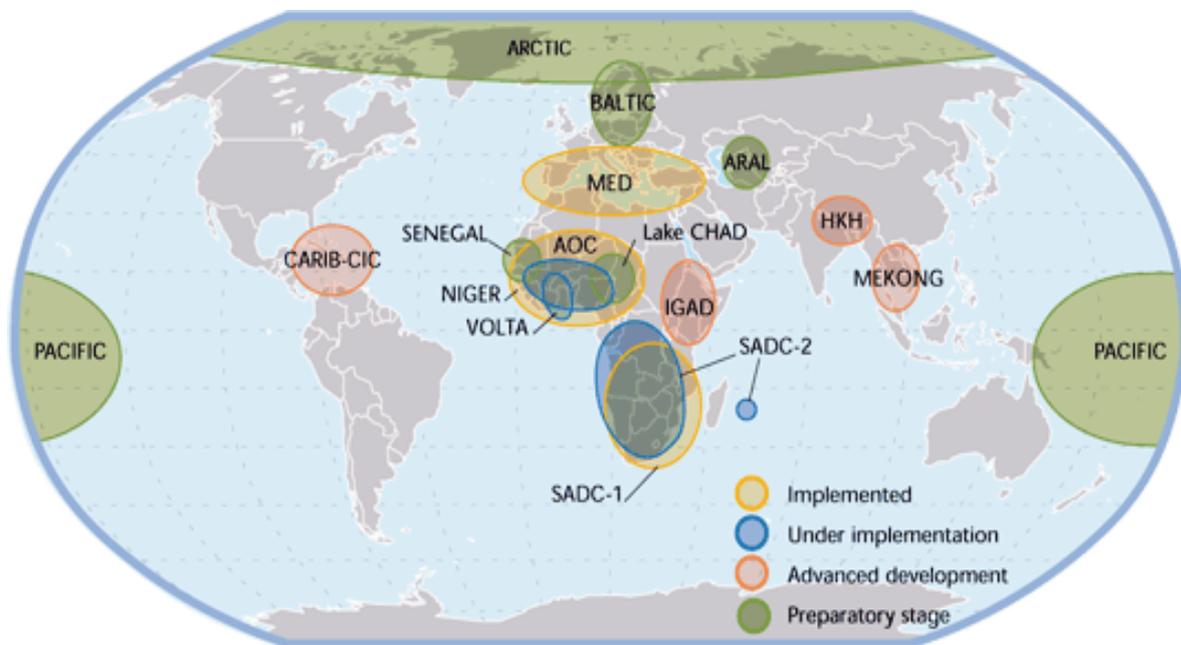


Fig. 1 – Constellation planétaire des programmes HYCOS

II. Le projet Caraïbe-HYCOS

Il a pour but de répondre aux problèmes nationaux et régionaux en termes de suivi et d'évaluation des ressources en eau, de meilleure gestion de celles-ci, d'amélioration de la maîtrise des événements extrêmes et de leurs conséquences (crues dévastatrices et étiages sévères). Ces actions seront menées en tenant compte de la situation particulière de chacune des îles-états, et en prenant en considération le fait que la mer des Caraïbes est l'exutoire naturel de nombreux cours d'eau de ces îles.

Ce programme d'envergure régionale, rayonne sur l'ensemble de l'arc insulaire caribéen de la plus grande (Cuba) des Grandes Antilles à la plus petite (Barbade) des Petites Antilles en s'affranchissant des clivages linguistiques, jusqu'alors

principal frein aux échanges régionaux. Il intègre parfaitement les composantes concernant le renforcement des coopérations transfrontalières (cas de l'île d'Hispaniola qui possède les seuls bassins partagés), transnationales, qu'interrégionales.

Il s'inscrit dans la politique d'évaluation et de gestion des ressources en eau de chaque pays, et vient compléter les dispositifs existants de prévention des risques naturels. Ce projet d'observatoire se situe en amont de tout projet de développement rural ou urbain intégrant la gestion et les usages de l'eau, aussi bien que de tout projet environnemental faisant en particulier la liaison entre le milieu terrestre et le milieu marin côtier, on pense plus précisément aux massifs coralliens et à leur conservation. Il intéresse en premier chef les secteurs touchant au développement et à l'environnement et par conséquent aura un impact indirect sur les économies insulaires.

2.1 Historique

La mise en place du projet Caraïbe-HYCOS a été proposée par le Groupe de Travail sur l'Hydrologie de l'Association Régionale OMM IV en octobre 1995, elle a été reprise par la Conférence sur l'Evaluation des Ressources en Eau et les Stratégies de Gestion en Amérique Latine et aux Caraïbes (San José, Costa Rica, Mai 1996) et par la douzième session de la AR IV de l'OMM (Mai 1997). Le projet Caraïbe-HYCOS couvre la plupart des pays du Bassin de la Mer des Caraïbes, mais il est divisé en deux composantes afin de prendre en compte les différences physiographiques entre les pays d'Amérique Centrale et les îles des Caraïbes, ces composantes sont : (i) la Composante Iles Caraïbes (CIC/Caraïbe-HYCOS) [comprenant les Grandes et les Petites Antilles] ; et (ii) la Composante Continentale (COC/Caraïbe-HYCOS) [Mexique, Pays Centro-américains, Colombie, Venezuela et Guyana]. Les deux composantes de Caraïbe-HYCOS feront partie intégrante du projet global WHYCOS.

2.2 Pays d'application

L'archipel des Caraïbes est constitué d'un chapelet d'îles s'étirant des Bahamas au Nord jusqu'à Trinidad et Tobago au Sud, et bordant la mer des Caraïbes au Nord et à l'Est. Politiquement, l'archipel est divisé en vingt Etats et territoires. Les pays qui ont exprimé leur intérêt à participer au projet Caraïbe-HYCOS sont : la Barbade, Cuba, la République Dominicaine, les Antilles Françaises (Guadeloupe et Martinique), Haïti, la Jamaïque et Trinidad et Tobago (fig. 2).



Fig. 2 – Région Caraïbe

2.3 Diagnostic et nécessité du Projet

Comme la mer des Caraïbes constitue une bonne partie de l'exutoire ultime des eaux drainées par ce cordon insulaire, ces rejets présentent des impacts sur les récifs coralliens, et à terme sur tout un pan des économies locales puisque le littoral marin en représente un des principaux attraits touristiques. Et surtout, ces îles sont affectées par des phénomènes récurrents extrêmement violents (cyclones, éruptions volcaniques, glissements de terrain,...), certes sporadiques, mais qui provoquent des transferts hydriques solides et dissous représentant bien souvent la majeure partie des exportations annuelles de matières à la mer.

Basé sur le concept WHYCOS de l'OMM, la Composante Iles Caraïbes de Caraïbe-HYCOS a été développée pour répondre aux problèmes énoncés ci-dessus, en tenant compte de la situation particulière des îles-Etats. L'archipel des Caraïbes est caractérisé par une grande diversité et hétérogénéité tant des points de vue politique et socio-économique que des points de vue culturels et linguistiques.... Le même constat s'applique aux Services nationaux gestionnaires des ressources en eau quant à leur organisation, infrastructure, moyens disponibles, stratégies opérationnelles, états d'avancement, etc,....

Une certaine homogénéisation de leurs mises à niveau et modernisation s'impose donc pour faciliter et promouvoir l'émergence d'une communauté régionale d'hydrologues caraïbéens.

2.4 Objectifs du projet

Le projet pourrait englober différentes composantes dans chaque pays participant, qui, prises dans leur ensemble, participeront grâce à une coordination

régionale, à la construction de compétences nationales nécessaires à l'acquisition et à la gestion de données sur les ressources en eau et à la prévention des catastrophes naturelles.

Le projet Composante Iles Caraïbes de Caraïbe-HYCOS (CIC/Caraïbe-HYCOS) présente les objectifs de développement suivants :

- Réduire les pertes en vies humaines et les dégâts matériels causés par les catastrophes naturelles, à l'aide de l'exploitation de systèmes de prévision et d'alertes de crues, et ainsi améliorer les compétences à prévenir les conséquences des catastrophes naturelles.
- Soutenir le développement durable et la gestion intégrée de l'eau, sur la base d'une connaissance fiable des ressources en terme de quantité, de qualité et d'utilisation, et aboutir ainsi à un renforcement des compétences en gestion de l'eau.
- Augmenter les échanges d'informations et d'expériences, plus particulièrement lors des catastrophes naturelles, en suscitant des coopérations régionales sur les ressources en eau et,
- Développer des compétences techniques (via la formation et le transfert de technologies) adaptées aux conditions et aux réalités de chaque pays, en promouvant la formation dans les instituts nationaux.

2.5 Objectifs immédiats

- Contribuer à la mise en œuvre du réseau mondial de stations hydro-météorologiques de référence (fig. 3), avec télétransmission des données en temps réel via satellites,
- Acquérir une meilleure connaissance des phénomènes hydro-météorologiques régionaux et de l'évolution de l'environnement,
- Moderniser les réseaux hydro-météorologiques dans la région Caraïbes,
- Favoriser les échanges de données fiables et homogènes sur les ressources en eau et l'environnement à des fins de recherche,
 - Promouvoir les actions de coopération régionale, en particulier dans les domaines suivants :
 - échanges technologiques en matières d'acquisition et de traitement des données (fig. 4),
 - création de bases de données nationales et régionales,
 - mise à disposition de systèmes d'information hydrologique,
 - partage des données et de l'information dans la perspective d'études régionales et globales,
 - mise en place de programmes régionaux de formation (fig. 5).



Fig. 3 - Stations hydro-météorologiques de référence



Fig. 4 – Transfert de technologies (mesure de débits par effet Doppler)



Fig. 5 – Session de formation

2.6 Composantes du projet

Le projet CIC/Caraïbe-HYCOS est structuré en trois composantes principales : (I - Prévention des catastrophes ; II - Base de connaissances sur l'eau, III – Coopération régionale).

Bien que les coopérations régionales soient bien établies dans le domaine de la météorologie, elles sont, à quelques exceptions près, quasiment inexistantes pour ce qui concerne l'hydrologie. L'intérêt et les avantages potentiels de la coopération régionale dans la gestion des ressources hydrologiques et la gestion de problèmes communs de ressources en eau ne sont pas apparus clairement auprès de services nationaux. Les phénomènes hydrologiques et météorologiques ne se limitent pourtant pas aux frontières nationales. Les services d'observation et d'interprétation de données de taille modeste, comme c'est le cas dans les Îles de la Caraïbe, pourraient retirer des avantages importants du partage des données, et sans doute, de la mise en commun des expertises à l'occasion de projets spécifiques. Etant soumises à des problématiques communes, elles nécessitent des approches communes et la mutualisation des moyens, comme par exemple, une banque de données partagées.

Plus généralement, l'amélioration de la coopération régionale au sein des Caraïbes, en termes de gestion des ressources hydrologiques et de problèmes environnementaux, est un sujet d'importance majeure. En effet, les progrès qui sont réalisés dans ce domaine peuvent avoir un impact considérable sur le développement socio-économique de la région, bien au-delà des questions de ressources en eau.

2.7 Gouvernance du projet

Le projet est mis en œuvre avec les ressources humaines et matérielles de l'Agence d'Exécution (IRD), des Services concernés de la Martinique et des Services Hydrologiques Nationaux (SHN) des pays participants au projet, sous la supervision de l'OMM.

Le Comité de Pilotage du Projet est composé d'un représentant de chaque pays membre du projet Caraïbe-HYCOS, d'un représentant de l'Agence d'exécution (IRD), d'un représentant des bailleurs de fonds et d'un représentant de l'Agence de supervision du projet (OMM).

L'Agence d'exécution du projet fournit l'assistance nécessaire aux SHN dans les pays partenaires pour assurer le succès des installations de terrain du projet. Elle accueille le Centre Régional (CR) et met en place une unité responsable de l'exécution du projet. Cette unité d'exécution est constituée du coordinateur, d'un ingénieur hydrologue, d'un ingénieur informaticien bases de données et/ou électronicien et d'un(e) assistant(e) administratif (ve) (figure 6).

GOUVERNANCE DU PROJET

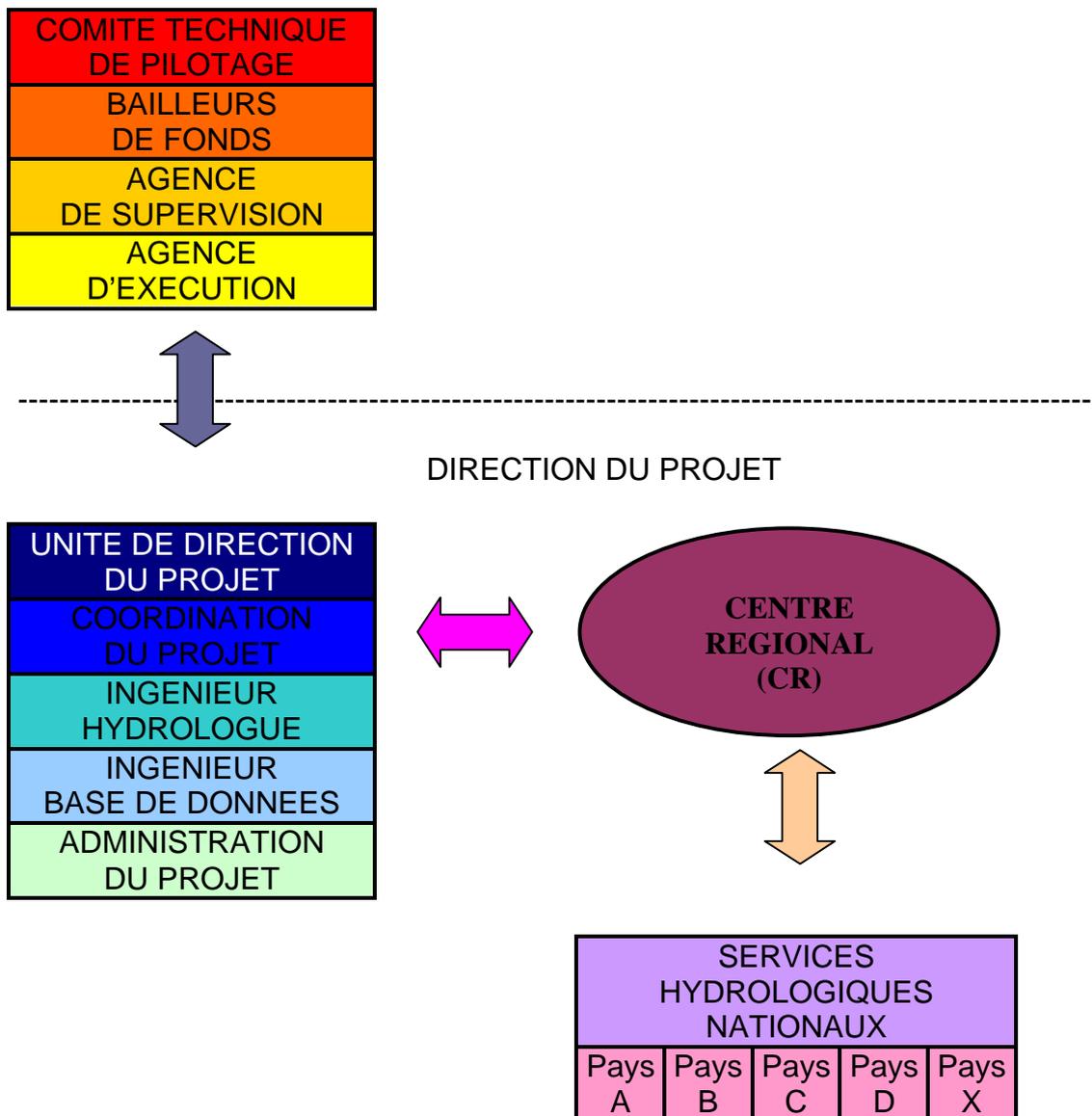


Fig. 6 – Mécanismes de gouvernance et d'exécution du projet Caraïbe-Hycos

III. Avancement, difficultés et orientations

3.1 Avancement

La phase 1, dite préliminaire, s'est réalisée avec succès et a été clôturée par le 1er Comité de Pilotage (21-23 octobre 2008 à Fort de France), en présence de l'ensemble des partenaires caribéens et de l'OMM.

Une cinquantaine de stations hydrométriques ont été sélectionnées pour bénéficier des transferts de technologies de dernières générations, comme les transmissions des données par GSM ou l'usage de l'effet Doppler pour les mesures de débits. Ces actions tiennent compte de la situation particulière de chacune des îles-états, et permettront à terme, de fournir des données fiables sur l'eau aux planificateurs des ressources, aux décideurs, aux scientifiques et au grand public, tout comme

d'évaluer les flux tant liquides que solides et dissous rejetés à la mer des Caraïbes, exutoire naturel de nombreux cours d'eau de ces îles.

Les diagnostics de chaque réseau hydrométrique des îles partenaires permettent d'entamer la phase 2 dite de réalisation. Celle-ci consiste en l'équipement et la modernisation des Services Hydrologiques Partenaires, tout comme en l'organisation de sessions de formation et d'une banque de données partagées (résolution 25 de l'OMM), afin de promouvoir la coopération régionale dans le domaine des ressources en eau douce de l'arc insulaire caribéen.

Face au succès de cette entreprise, déjà trois nouveaux participants (Antigua & Barbuda, La Dominique et Sainte Lucie) souhaitent intégrer le groupe initial, ce qui totalise 11 îles caribéennes bénéficiaires des Grandes et Petites Antilles. Cela illustre parfaitement l'intérêt, l'envergure et l'extension régionale de ce programme Caribéen par essence.

Cette phase 2 vient d'obtenir l'appui des crédits de coopération européens « INTERREG IV-Caraïbes - www.interreg-caraibes.org », afin de pouvoir répondre au mieux aux besoins de des partenaires du projet.

3.2 Difficultés

Elles sont inhérentes à la grande hétérogénéité de ces milieux insulaires, tant en termes des caractéristiques physiographiques (taille, relief, géologie, pédologie, végétation, climatologie, hydrologie, etc.,) que socio-économiques, politiques et linguistiques. Le réseau aérien est par exemple inadapté pour relier rapidement et économiquement les îles entre-elles et constitue un frein aux échanges inter-îles, que seule pourra lever une véritable volonté politique régionale.

3.3 Orientations

Ses actions de mise en oeuvre sont réalisées pour et par les pays partenaires. A la différence des autres projets HYCOS qui concernent de grands bassins versants internationaux, qui sont construits sur un modèle unique de mise en oeuvre, ce projet est proposé de manière pragmatique en composantes principales et composantes secondaires, compte tenu de l'hétérogénéité de ces milieux insulaires, chaque île-état, en fonction de sa situation, prend à son compte la mise en oeuvre d'une ou plusieurs composantes, les résultats obtenus pouvant être adaptés et transférés à la situation particulière d'une autre île. Cette approche permet à moindre coût et en fonction des spécificités reconnues de couvrir l'ensemble des thématiques d'une étude intégrée des phénomènes hydro-météorologiques et des ressources en eau. Ces informations peuvent également être transférées à d'autres milieux insulaires hors de la région Caraïbe.

Un des rôles important du Centre Régional sera de faire en sorte que les actions qui se développeront dans chacune des îles correspondent bien aux besoins exprimés et que leur mise en oeuvre soit la plus coordonnée possible au niveau régional. Cela devra être vérifié aussi bien pour les actions de terrain (installation, rénovation de stations d'observation) que pour les actions de traitement et de dissémination de l'information (bases de données, bases de connaissances, moyens de mise à

disposition de l'information : sites Internet). Cela conditionnera en particulier la mise en oeuvre du programme de formation et le succès de ces formations.

Caraïbes-HYCOS veillera à développer des synergies avec les autres projets nationaux ou régionaux afin d'optimiser au maximum leurs bénéfices attendus.

Conclusions / Perspectives

Caraïbe-HYCOS sous l'égide de l'OMM, est un observatoire environnemental à connotation recherche/développement. Cet observatoire du cycle hydrologique a pour objectif de contribuer à l'évaluation, au suivi et à la gestion des ressources en eau (en quantité et qualité) de l'arc insulaire des Caraïbes, à moderniser les réseaux hydrométriques avec du transfert de technologies de dernières générations, à améliorer et homogénéiser la gestion des données en favorisant leur partage et *in fine*, à développer la coopération régionale grâce notamment à la création et promotion d'une communauté hydrologique caribéenne confrontée à des problématiques communes.

L'évolution des ressources hydriques à la fois dans l'espace et le temps, tant en termes quantitatifs que qualitatifs et l'étude de leurs causes (anthropiques, naturelles, climatiques...) et de leurs conséquences constituent une problématique intéressant en premier lieu la Société Civile. Tout comme pour la veille climatologique, la veille hydrologique ne trouvera tout son intérêt et sa justification que dans la durée. Ces véritables Observatoires des évolutions de l'environnement doivent se pérenniser tant il est admis que la compréhension de leurs causes, processus et devenir, ne peut s'établir qu'à l'aide de séries chronologiques longues et de qualité. Il semble évident que la deuxième phase actuelle (2010-2012) de réalisation de la composante insulaire (CIC) du projet Caraïbe-HYCOS devra se poursuivre et s'améliorer par la suite. Il serait louable qu'elle soit complétée par le lancement de sa composante continentale (COC) lors d'une deuxième période qui cadrerait toujours parfaitement dans la thématique « environnement et développement durable » des prochains Contrats Etat-Collectivités. Ainsi dans la continuité de son expansion, la COC bénéficierait des acquis, compétences, expériences de la CIC...

Comme le fonctionnement des bassins versant passe par une bonne connaissance de leurs caractéristiques physiographiques, les deux composantes insulaires et continentales de Caraïbe-HYCOS auront tout avantage à se rapprocher du Projet SEAS Guyane « Surveillance de l'Environnement Assistée par Satellite www.seas-guyane.org ». En effet, il s'agit là d'une Plate forme technologique d'acquisition et traitement des images des satellites SPOT 5 et ENVISAT qui est opérationnelle depuis début 2006 pour favoriser la recherche, la formation et le développement durable en Amazonie et dans les Caraïbes ainsi que le développement de la coopération scientifique régionale transfrontalière entre Guyane, Brésil et Caraïbes (fig. 7).

La mise en place par l'IRD de cette station de réception à haute résolution (2,5 m au sol) est unique en Europe et en Amérique du Sud. Elle sera dédiée au développement d'activités de recherche, de formation et de services opérationnels en prise directe avec le développement régional et oeuvrera à travers un accès gratuit des données pour la recherche, notamment pour favoriser des pôles de compétence régionaux (Guyane, Brésil, OTCA, Caraïbes...).



Fig. 7 – Couverture régionale de la station de réception de SEAS
 Guyane

Dans de telles approches liant recherche et environnement, Caraïbe-HYCOS (www.caraibe-hycos.org) attendra beaucoup, notamment au travers de l'utilisation des images satellites, de l'échange de données inter institutionnelles concernant les risques naturels, la couverture végétale, l'urbanisation, la cartographie des biocénoses marines, etc. Un croisement de ces informations implique la collaboration des différents utilisateurs, chacun mesurant des paramètres spécifiques, mais néanmoins interdépendants dans leur grande majorité. L'interaction Caraïbe-HYCOS-SEAS paraît d'ores-et-déjà très fédératrice et prometteuse.

Etat des lieux et proposition de restauration des sols sur le Bassin versant de Tondi Kiboro (Niger)

Luc Descroix¹, Ibrahim Mamadou², Moussa Malam Abdou¹⁻³, Abba Bachir³,
Ibrahim Bouzou Moussa³, Eric Le Breton², Kadidiatou Souley Yéro¹

¹ IRD-LTHE, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, France ; luc.descroix@ird.fr

² Laboratoire de Géographie Physique (LGP) / CNRS UMR 8591, 1 Place Aristide Briand 92195 Meudon

³ Département de Géographie, FLSH, Université Abdou Moumouni Niamey, BP 418, Niger;

Résumé

Le Sahel connaît une forte surexploitation des terroirs, du fait d'une forte croissance démographique et de sols fragiles et peu fertiles. Les sols se dégradent et s'encroûtent, ce qui provoque un accroissement du ruissellement et des débits des cours d'eau, malgré la pluviosité toujours déficitaire (le « paradoxe hydrologique du Sahel »). Les bassins versants de Tondi Kiboro à l'Ouest du Niger, avaient connu des mesures hydrologiques dans les années 1990. On a recommencé les mesures en 2004, et au bout de la quatrième année, l'un des bassins a été équipé de dispositifs antiérosifs, l'autre restant en tant que témoin sans aucune correction (mais probablement une poursuite de la dégradation). Des dispositifs classiques, essentiellement des demi-lunes, ont été installés, puis rénovés en 2010. On montre ici l'évolution des débits, toujours marqués principalement par un accroissement par rapport à la décennie 1990 où le bassin était beaucoup plus végétalisé.

Mots clés : Niger, Erosion, ravinement, Sahel, demi-lunes, surexploitation des sols, encroûtement

Abstract

The West African Sahel suffers a strong soils overexploitation, due to the demographic pressure and the low soil fertility. Soils degradation is characterized by crusting, causing an increase in runoff and rivers discharge, although the rainfall amount remains under the centennial average (this is the "Sahelian hydrological paradox"). The experimental catchments of Tondi Kiboro, near Banizoumbou, in Western Niger, were instrumented and hydrological measurements were carried out from 1991 to 1994. Measurements were re-initialised in 2004, and from the fourth year (2007), one of the two basins was equipped by antierosion devices, the other catchment remaining as a control, without any correction, but with probably a continuation of its progressive land degradation. Classical devices as "half moons" were implemented, and rehabilitated in 2010. This work presents the evolution of runoff and discharges, and the main trend is a continuation of the trend (increase in runoff) initiated in the 1990, when the vegetation cover was much more important than nowadays.

Key words: Niger, Erosion, gullyng, Sahel, half-moons, soil overexploitation, soil crusting

Problématique

L'Afrique de l'Ouest est à l'heure actuelle la zone qui connaît la plus forte croissance démographique au Monde : aux alentours de 3% par an, et elle est appelée à se maintenir à ce taux là pendant encore une décennie (le taux de croissance démographique continue à augmenter au Mali et au Niger, les deux plus grands pays

du Sahel) (PNUD, 2008). De ce fait, les changements d'usage des sols y sont très rapides, et on note, malgré une augmentation récente de la pluviosité après 35 ans de déficit historique sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, une poursuite de la diminution de la couverture végétale permanente : brousses, forêts, forêts galeries et savanes « naturelles » ont presque totalement disparu au profit des cultures.

Ceci se traduit aussi, du fait de la pauvreté globale et relative des sols, par une fatigue de ceux-ci, liée à l'accélération des rotations, au raccourcissement voire à la disparition des jachères et au pâturage.

Cette forte baisse de la végétation permanente et de la biomasse (Loireau, 1998 ; Hiernaux et al., 2009) a des conséquences hydrologiques importantes : accroissement de l'érosion (Chinen, 1999), ensablement des bas fonds et des vallées (Amogu, 2009), et surtout, apparition du « paradoxe du Sahel », mis en évidence par Albergel (1987), qui a remarqué à ce moment là que le ruissellement et les écoulements augmentaient au Sahel depuis les années 1970 alors que la pluviosité avait très sensiblement diminué (de 20 à 40% entre la décennie 1960 et la décennie 1970). Ce phénomène semble général dans tout le Sahel et on l'observe de l'échelle locale à l'échelle régionale (Descroix et al., 2009, Amogu et al., 2010).

Dans certains secteurs endoréiques, cet accroissement du ruissellement a conduit à une hausse de la nappe phréatique depuis plusieurs décennies, comme cela a été observé dans le secteur concerné par cette étude, proche de Niamey (Desconnets et al., 1997). Le site qui a servi à cette expérimentation est situé à 70 km à l'Est de Niamey (Fig.1).

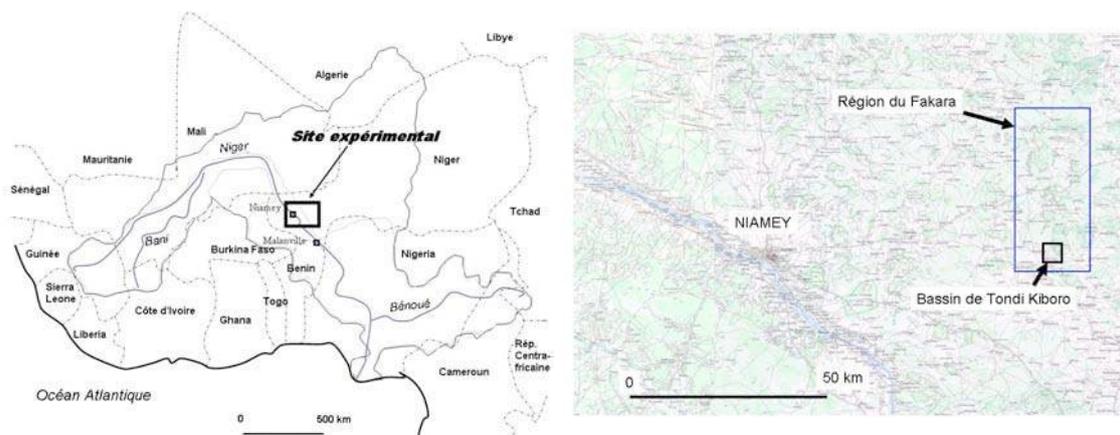


Figure 1 : localisation du bassin de Tondi Kiboro

La hausse de la nappe phréatique y est liée à la multiplication des mares et l'augmentation de leur durée en eau provoquée par le « paradoxe du Sahel » dans ces secteurs endoréiques (Bouzou Moussa et al., 2009). Les mares sont en effet la principale zone de recharge de la nappe. La région du Fakara est un des trois sites expérimentaux du programme AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), les deux autres sites étant situés au Mali et au Bénin.

Dans cette région précisément, il a été montré que les bas fonds s'ensablent du fait de l'accroissement de l'érosion en amont (Le Breton, 2005), que cela pouvait provoquer des défluviations et des changements de cours des écoulements du fait des dépôts encombrant bas fonds et versants très peu pentus (Mamadou, 2006) ; on a pu obtenir des valeurs de ruissellement et d'érosion suivant les types d'états de surface (Malam Abdou, 2008). Ces observations rejoignent celles réalisées préalablement au nord du Burkina sous un climat semblable (Karambiri et al., 2005).

Plus récemment, on a pu constater dans que les régions proches de Niamey (le long du fleuve et aussi dans le Fakara pourtant situé à 70 km de la capitale), l'auréole de déboisement liée à la demande en bois de chauffe de la ville avait accru le déboisement et l'érosion (Amogu, 2009), ce qui confirme les conclusions de Chinen (1999). On y a trouvé des témoignages de plusieurs ruptures d'endoréisme récentes, certaines s'étant produites ces dernières années, ce qui justifie le démarrage d'une thèse de géographie cette année au département de géographie de l'Université Abdou Moumouni (UAM) de Niamey. On décrit ici un dispositif de lutte antiérosive proposé pour maintenir voire améliorer la qualité des sols.

Objectifs

Partant d'un diagnostic sur l'état dégradé des sols et de la végétation sur le terroir des villages du Fakara, cette étude propose de tester des méthodes de conservation des sols sur ces terrains dégradés. La figure 2 permet de constater qu'en seulement 14 ans, le changement d'usage des sols peut être très rapide.

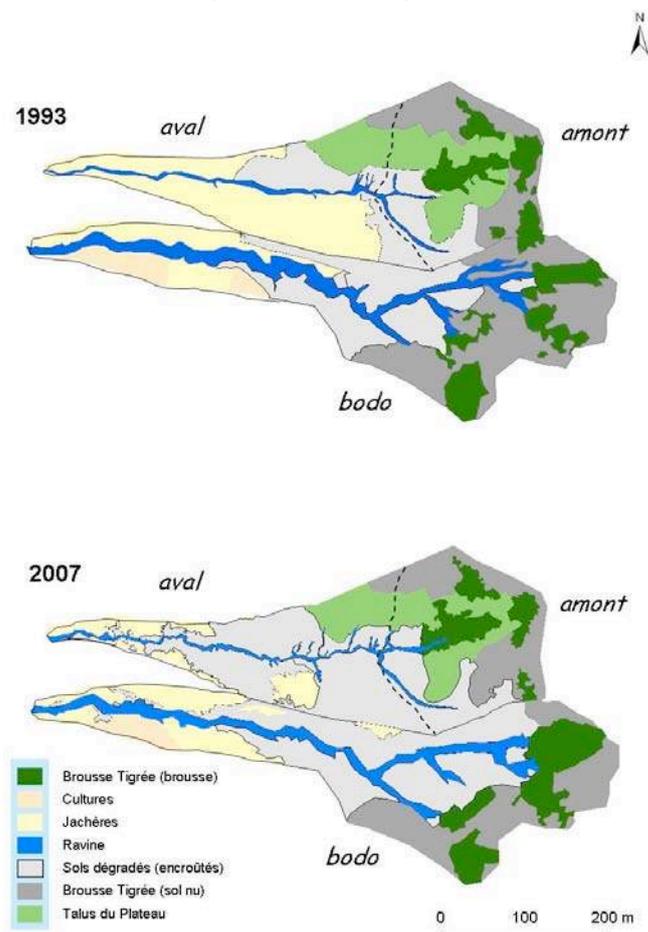


Figure 2 : évolution de l'occupation des sols sur les bassins de Tondi Kiboro entre 1993 et 2007

En particulier, on peut constater qu'une importante partie du bassin a vu ses sols se dégrader ; la surface de sols encroûtés est passée de 17 à 40% de la surface du bassin « nord » (aval + amont sur la figure 2).

A l'échelle un peu plus grande de l'ensemble du Fakara, une région d'environ 15 km sur 40 (figure 3), on peut constater qu'entre 1986 et 2005, c'est-à-dire sur une période récente, on observe une forte progression des cultures et des surfaces dégradées.

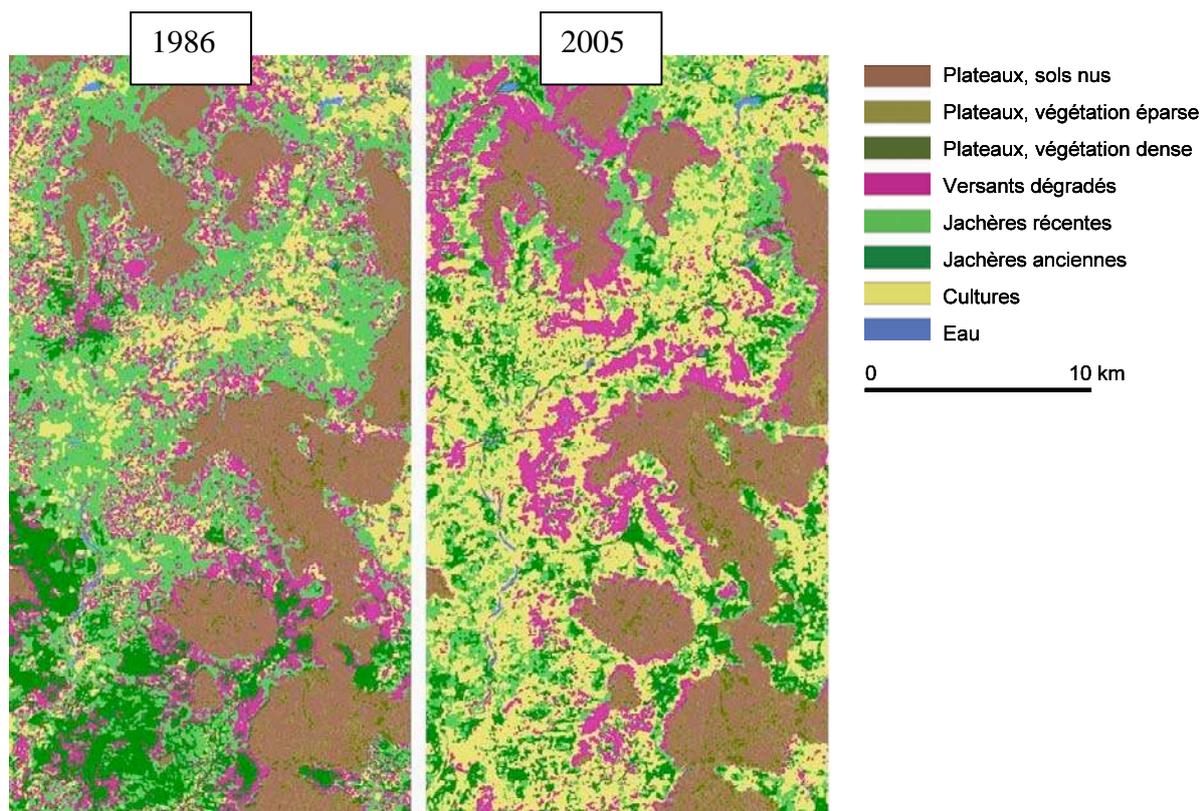


Figure 3 : évolution de l'occupation du sol dans le Fakara entre 1986 et 2005 (d'après Catherine Ottlé, programme AMMA)

Or comme le montre le tableau 1 (Le Breton, 2005 ; Mamadou, 2006), le ruissellement est bien plus important sur les sols encroûtés, qu'ils soient sous forme de croûte d'érosion (ERO dans la nomenclature de Casenave et Valentin, 1989) ou de croûte algale (ALG),- que sur les surfaces occupées par du mil ou de la jachère, qui représentent l'essentiel de la surface au Sahel du Niger.

Tableau 1 : coefficient de ruissellement (Kr) et taux d'érosion (en kg/ha) sur les différents types d'occupation des sols du Fakara (parcelles de 10 et 100 m², 5 répétitions, 5 années de mesure)

Type de couvert ou d'ES	Kr en % de la pluie par an	érosion en kg.ha ⁻¹ .an ⁻¹
Mil	3,8	372
Jachère	10,5	881
Croûte ERO	59,5	5566
Croûte ALG	25,5	863

Ces valeurs ont été mesurées sur une vingtaine de parcelles de deux sites expérimentaux du Fakara, pendant 5 saisons des pluies. Il s'agit de sols sableux sur des pentes faibles (1 à 5% suivant les parcelles).

De fait, les travaux récents (Souley Yéro, 2008, Amogu, 2009) ont montré que du fait de l'extension des surfaces encroûtées, on constate une hausse des coefficients de ruissellement et aussi des débits observés. Ceci apparaît dans le tableau 2 entre les périodes 1991-1994 et 2004-2010 pour les trois bassins dont le premier est emboîté dans le second. C'est cet ensemble (aval + amont) qui constitue le bassin nord

représenté dans la figure 2, la limite de bassin intermédiaire représentée étant la limite entre les deux parties amont et aval ; dans le tableau ci-dessous, le bassin TK aval englobe TK amont. Le bassin « bodo » est celui situé au sud. La hausse des débits et lames ruisselées est plus faible pour « TK aval » car une grande partie du débit est infiltrée dans les dépôts sableux de fond de talweg entre les deux seuils limnimétriques. Elle s'observe au niveau de la relation pluie/débit par évènement mais pas sur le total annuel. Cela avait déjà été observé par Esteves et Lapetite (2003). On distingue le coefficient de ruissellement global (3^{ème} colonne) de celui par évènement donné par l'équation pluie/débit. La dernière colonne montre que si les débits augmentent, le temps pendant lequel ils se produisent s'est sensiblement réduit, traduisant l'accélération des ruissellements et la baisse de la capacité de rétention en eau des sols, dues à l'encroûtement des sols.

Tableau 2. Evolution des écoulements sur les bassins de Tondi Kiboro entre les périodes 1991-1994 et 2004-2010 (d'après Souley Yéro, 2008, actualisé des données de 2009 et 2010).

TK amont	Pluie en mm	Lame ruisselée en mm	Kr	Relation Pluie/débit	Durée d'écoulement en heure par an
Moyenne 1991-1994	513	180,3	0,35	R = 0,56 P – 2,61	39,6
Moyenne 2004-2010	499	217,3	0,43	R = 0,73 P – 4,5	34,2

TK aval	Pluie en mm	Lame ruisselée en mm	KR	Relation Pluie/débit	Durée d'écoulement en heure par an
Moyenne 1991-1994	513	132,6	0,26	R = 0,43 P – 2,3	28,1
Moyenne 2004-2010	502	124,3	0,26	R = 0,46 P – 3,1	18,2

TK bodo	Pluie en mm	Lame ruisselée en mm	KR	Relation Pluie/débit	Durée d'écoulement en heure par an
Moyenne 1991-1994	485	185,3	0,38	R = 0,53 P – 2,14	44,2
Moyenne 2007-2010	493,8	233,3	0,47	R = 0,85 P - 7	25,9

Ces bassins versants élémentaires de quelques hectares, équipés de stations de jaugeage à leur exutoire, qui ont permis de mesurer les débits cités, sont ceux qui serviront à évaluer l'évolution future des écoulements et des pertes en terre avec et sans traitement

Matériel et méthodes

On se propose d'installer des parcelles de zaï, des demi-lunes, des cordons pierreux, des reboisements, des haies, afin de limiter le ruissellement et l'érosion.

Trois bassins versants permettront de suivre les écoulements et les transports solides dans le temps et de mesurer l'éventuel impact des actions de conservation des sols sur ces éléments. Deux des bassins ont commencé à être équipés de ces dispositifs expérimentaux (voir ci-dessus) : le bassin de TK amont (4,9 hectares) est emboîté (partie amont) dans TK aval (11 ha) ; c'est celui-ci qui a été aménagé. Le troisième bassin, TK Bodo (12 ha), reste inchangé, comme témoin. Ces bassins ont 25 m de dénivelée entre l'amont (plateau du Fakara, à l'est) et la petite cuvette endoréique dans laquelle ils se déversent. L'altitude de la base est de 235 m.



Figure 4 ci-dessus : demi-lunes sur le versant nord du bassin

Figure 5 en haut à droite : grande banquette rectangulaire pouvant accueillir 3 arbres

Figure 6 ci contre : plantation de acacias senegal (gommiers) en poquets (mini-zaï) sur le versant sud du bassin



Résultats

Les expérimentations grandeur nature ont été initiées durant la saison sèche 2006-2007 : mise en place d'une pépinière sur le site expérimental de Banizoumbou, installation de « demi-lunes » et de « mini-banquettes » (5 m de long) sur les bassins proches de Tondi Kiboro « Nord », amont (4.5 ha) et aval (11 ha).

La pépinière a, elle, été installée à côté du village de Banizoumbou, à 4 km à l'ouest, dans l'enclos d'un centre technique du Ministère de l'Agriculture, afin d'être à l'abri du bétail. Au début de la saison des pluies, plusieurs centaines de plants (acacias, gommiers, prosopis africana) ont été repiqués sur ces bassins, le bassin TK Bodo, au sud (12 ha) restant sans aménagement comme bassin « témoin ». Débits et débits solides sont contrôlés depuis la Mousson 2004 comprise. En tout, moins de 1 hectare a été traité, mais il s'agit de la partie la plus dégradée du bassin, donc celle où la moindre action est susceptible de porter le plus rapidement ses fruits.

Pour le moment, la pousse étant très lente en zone sahélienne, on n'attend pas de modification des débits avant plusieurs années le temps que les arbres poussent (il y a eu aussi beaucoup de pertes en plantation, plus de 80%, un taux habituel au Sahel, qui oblige à de constants « regarnissages »). Il s'agit donc de maintenir et entretenir le dispositif durant quelques années (5 années de plus peut être, jusqu'en 2014 idéalement) de manière à s'assurer de son autonomisation avant de le laisser se développer et jouer son rôle protecteur.

On montre, figures 7 à 9 quelques exemples de dispositifs LAE dans la sous-région, installés à bon ou a mauvais escient.



Figure 7 : exemple de cordons pierreux bien réalisés (ici dans le bassin de la Sirba, au Burkina Faso)



Figure 8 : exemple de plantation de gommiers en cuvette réussie (Boubon, au nord de Niamey)



Figure 9 : cordons pierreux installés inutilement sur un cône de déjection (Boubon)

On attend, au bout de quelques années, une analyse de l'efficacité de chacune des méthodes de conservation testées sur les bassins versants de Tondi Kiboro, en termes de limitations de l'écoulement et des transports solides. Avant la mousson 2009, un regarnissage partiel des arbres a été opéré, ainsi que l'installation d'une vingtaine de nouvelles demi-lunes et terrasses ; en 2010, les demi-lunes ont été recreusées, sans que soit effectué de regarnissage. Ceci permet à l'avance de diagnostiquer quelques difficultés :

- **les regarnissages doivent être opérés chaque année**, et il faut s'attendre à remettre chaque année au moins 80% de plants manquants, voire plus de 90%; ce taux élevé est facile à expliquer par le fait que les parcelles traitées, pas plus ici que lors des opérations menées par les Eaux et Forêts ou les ONG, n'ont été ni clôturées ni surveillées, ce qui fait que, au retour du bétail transhumant aux premières semaines de la saison sèche, une grande partie des plants est broutés car ils sont appétants ;
- Les **demi-lunes et autres tranchées** destinées à aider l'infiltration de l'eau et la pousse des arbres, malgré leurs dimensions honorables (40 cm par 40 cm de section), sont presque entièrement colmatées en deux moussons par les eaux de ruissellement ; donc à entretenir régulièrement aussi ;
- Il faut donc prévoir un travail d'entretien annuel pratiquement aussi important que celui de la première installation, et à réaliser juste avant la mousson ou aux premiers jours de celle-ci.

Sur le bassin versant nord (station aval) où le traitement a été appliqué, on observe une baisse des ruissellements les deux dernières années (2009 et 2010), soit à partir de la troisième année de traitement antiérosif, avec des valeurs de coefficient de ruissellement en diminution par rapport aux années antérieures et nettement sous la moyenne (tableau 3), alors que ceux-ci restent au même niveau pour les années 2009-2010 que pour 2007-2008 sur le bassin non traité, « bodo ». Cependant, comme 2009 et 2010 sont aussi deux années déficitaires au niveau pluviométrique, il est difficile d'affirmer que cette baisse est uniquement le fait du traitement antiérosif appliqué au bassin nord.

Tableau 3. Evolution du coefficient de ruissellement sur le bassin « nord » traité de 2004 à 2010

TK aval	Lame précipitée	Lame ruisselée	Kr
2004	533,00	170,97	0,32
2005	400,10	64,78	0,16
2006	560,67	131,99	0,24
2007	523,53	127,40	0,24
2008	610,70	193,28	0,32
2009	461,00	103,00	0,22
2010	424,00	78,60	0,19

Conclusion

Il est trop tôt pour se prononcer sur l'efficacité des dispositifs réalisés ; ce qu'on a constaté, c'est la nécessité d'un entretien annuel, ou plutôt on a découvert la nécessité d'un effort constant à partir de l'aménagement, indispensable surtout les premières années. Celui-ci sera poursuivi jusqu'à ce qu'on se soit assuré que le maintien des ouvrages ne nécessite plus d'entretien régulier, ce qui n'affranchira pas l'équipe d'un contrôle périodique afin de s'assurer du bon déroulement du dispositif.

L'équipement hydrologique permettra de constater si l'aménagement des versants se traduit en termes de coefficient de ruissellement et de temps d'écoulement. On attend au bout de quelques années (une dizaine d'années ?) une augmentation de l'infiltration et de l'évapotranspiration pouvant réduire les

ruissellements et écoulements et accroître les durées d'écoulement lors des épisodes pluvieux.

Les deux dernières années de mesure (2010) ont connu une diminution du ruissellement à l'échelle du bassin traité, mais il est trop tôt pour être sûr que cela soit lié au traitement réalisé. Les observations seront poursuivies les prochaines années afin de mieux cerner le rôle de ce traitement et de son évolution.

Bibliographie

Albergel, J., 1987. Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface : application aux petits bassins du Burkina Faso. In « The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources » IAHS Publ. 168, 355-365.

Amogu O., 2009. « La dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'alluvionnement du fleuve Niger : méthodes expérimentales et modélisation ». PhD Thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble, 440 p. .

Amogu O., Descroix L., Yéro K.S., Le Breton E., Mamadou I., Ali A., Vischel T., Bader J.-C., Moussa I.B., Gautier E., Boubkraoui S., Belleudy P., 2010. Increasing River Flows in the Sahel?. *Water*, 2(2):170-199.

Bouzou Moussa, I, Faran Maiga, O, Karimou Ambouta, J-M, Sarr, B., Descroix, L, Moustapha Adamou, M., 2009. Les conséquences géomorphologiques de l'occupation des sols et des changements climatiques dans un bassin versant rural sahélien. *Sécheresse20(1) : 1-8.*

Casenave, A., et Valentin, C., 1989). Les états de surface de la zone sahélienne ; influence sur l'infiltration. Coll. Didactiques, Ed. Orstom, Paris, 229 p.

Chinen, T., 1999. Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna, southwest of Niger. In: Human response to drastic changes of environments in Africa. Faculty of Economics, Ryutsu Keizai University 120, Hirahata, Ryugasaki 301-8555, Japan, pp. 67-102.

Desconnets, J-C., Taupin, J-D., Lebel, T., Leduc, C., 1997. Hydrology of the HAPEX Sahel Central Super Site : surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems. *J. of hydrol.*, 188-189: 155-178.

Descroix, L., Mahé, G., Lebel, T., G., Favreau, G., Galle, S., Gautier, E., Olivry, J-C., Albergel, J., Amogu, O., Cappelaere, B., Dessouassi, R., Diedhiou, A., Le Breton, E., Mamadou, I. Sighomnou, D., 2009. Spatio-Temporal Variability of Hydrological Regimes Around the Boundaries between Sahelian and Sudanian Areas of West Africa: A Synthesis. *Journal of Hydrology*, AMMA special issue, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.12.012

Esteves, M., Lapetite, J-M., 2003. A Multi-scale approach of runoff generation in a Sahelian gully catchment : A case study in Niger. *Catena* 50, 255-271.

Hiernaux, P., Ayantunde, A., Kalilou, A., Mougin, E., Gérard, B., Baup, F., Grippa, M., et Djaby, B., 2009. Trends in productivity of crops, fallow and rangelands in Southwestern Niger: impact of land use, management and variable rainfalls. *Journal of Hydrology*, in press.

Karambiri, H., Ribolzi, O., Delhoume, J-P, Ducloux, J., Coudrain-Ribstein, A., 2003. Importance of soil surface characteristics on water erosion in a small grazed sahelian catchment. *Hydrol. Process.*, 17: 1495-1507.

Le-Breton E. (2005). Ensablement des bas-fonds sahéien: étude des transferts sédimentaires au fleuve Niger dans le secteur moyen Niger –Mali ; Niger ; Bénin, DEA de géomorphologie de l'université Paris 7-Denis –Diderot, 74p.

Loireau, M., 1998. Espaces, ressources, usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes écologiques au Sahel nigérien. Thèse de géographie, Université Montpellier 3, 410 p.

Mamadou I. 2006 : Erosion et ensablement dans les kori du Fakara-dégré carré de Niamey Niger. Mémoire de DEA de Géographie, 144p.

Malam Abdou M. 2008 : Approche méthodologique pour la constitution d'une base de données pour la surveillance des systèmes hydrogéomorphologiques du bassin de kori Dantiandou (degré carré de Niamey). Mémoire de DEA de Géographie 115p.

PNUD – Programme des Nations unies pour le développement, 2007. *Rapport mondial sur le développement humain 2007-2008. La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé*, Paris, La Découverte.

Souley Yéro, K ., 2008. L'évolution de l'occupation des sols à l'échelle des bassins versants de Wankama et Tondikiboro : Quelles conséquences sur les débits ?. Mémoire de DEA de géographie, Université Abdou Moumouni de Niamey, 75 p.

Remerciements

Nous remercions le programme AMMA et l'ANR ECLIS pour le financement de cette étude ; ainsi que Catherine Ottlé du LSCE qui nous a fourni la figure 3. Nos remerciements vont aussi au PI CRECS qui a financé l'achat de 3 ordinateurs pour les étudiants en veille sur le terrain.

Processus érosifs et transport solide en milieu tropical insulaire Cas des bassins versants de la Baie du Robert, Martinique, FWI

Nicolas ROCLE^{1*}, Xavier BRAY¹, Anne-Claire NIVET¹,
Julie GRESSER¹, François-Xavier DE LA FOYE¹

¹ CEMAGREF, UR Agriculture et Espace insulaire,
Pôle de Recherche Agroenvironnementale de la Martinique, LAMENTIN, Martinique, FRANCE.

* Courriel : nicolas.rocle@cemagref.fr

Résumé :

Particulièrement vulnérable aux pressions d'origine anthropique, la Baie du Robert en Martinique est marquée par une dégradation généralisée de ses écosystèmes. L'envasement des fonds marins, les changements de bathymétrie et la dégradation de biocénoses remarquables sont notamment les conséquences d'un apport excessif de particules solides dans la baie. Sur certains sous-bassins versants de ce territoire, nous avons caractérisé et quantifié le transfert de solutés dans les eaux superficielles. Une première approche qualitative a permis d'établir un diagnostic cartographié de la vulnérabilité des terres à l'érosion à l'échelle des bassins versants. Dans un deuxième temps, un réseau de stations de mesures a été installé pour évaluer quantitativement le régime hydrologique et la dynamique de transport solide des cours d'eau instrumentés. Les principaux résultats de cette seconde étape permettent de caractériser les variations spatiales et temporelles du transport solide et d'estimer les quantités de matériaux entraînés en fonction des spécificités des sous-bassins instrumentés.

Mots clés : Martinique, Baie du Robert, envasement, érosion, transport solide.

Abstract:

In Martinique (FWI), the Robert bay is characterised by some signs of eutrophication and hyper sedimentation, inducing impacts on its natural ecosystems. This study has allowed highlighting some of the main driving factors of erosion processes in the catchment basins. Combination of agricultural practices and human settlements uphill during the last decades is one of the phenomena of erosion amplification. A first step was to build a diagnosis of erosion vulnerability in the catchment basins. The second step was dedicated to design monitoring programmes, install equipment and collect physical and chemical data on three different basins. First results allow improving scientific knowledge on spatiotemporal variability of solid transport on catchment basin scale and assessing contribution of solid transport in pesticides contamination.

Key words: Martinique island, Robert bay, hyper sedimentation, erosion, solid transport.

1. Présentation du contexte et de la zone d'étude

L'envasement des baies marines et la dégradation des biocénoses afférentes représentent aujourd'hui un problème d'ordre majeur dans la plupart des pays insulaires de la Caraïbe. A la Martinique, département français d'outre-mer de l'arc des Antilles, l'aménagement du territoire de ces dernières décennies a entraîné un changement dans l'occupation et la gestion des sols avec pour conséquence une aggravation des phénomènes d'érosion. L'urbanisation grandissante et non maîtrisée, l'absence ou la mauvaise gestion des eaux pluviales en lien avec ces aménagements ainsi que les pratiques agricoles sur monocultures sont le siège de phénomènes physiques qui présentent un impact majeur pour la gestion et la conservation des sols.

Le Havre du Robert, situé sur la commune du même nom sur la façade Atlantique de la Martinique, est une baie semi-fermée de 21 km², protégée par de nombreux îlets. Le faible hydrodynamisme dont elle fait preuve maintient les pollutions d'origine terrestre proches du littoral et la rend particulièrement sensible à l'eutrophisation et à l'envasement. Le continuum terre/mer est lié à l'existence de 22 cours d'eau tributaires qui drainent un bassin versant (23 km²) ramassé et soumis à de nombreuses pressions anthropiques. Le secteur agricole représente 25 % de la superficie totale du bassin et se caractérise par des cultures à forte consommation d'intrants, dans un contexte physique et climatique favorable à leur usage (pression parasitaire continue) et à leur transfert (pente moyenne de 27%). L'urbanisation, diffuse sur tout le bassin, s'accélère avec la construction d'habitations individuelles sur les hauteurs en amont des parcelles et d'infrastructures collectives sur les zones aval. La coévolution entre activités humaines sur les parties terrestres et les milieux littoraux s'en trouve dès lors renforcée. L'émergence ou le maintien d'activités côtières à fort potentiel de développement (tourisme nautique, pêche, aquaculture...) sont des enjeux de taille pour la collectivité. Depuis 2005, des organismes de recherche (CEMAGREF, IFREMER et Université Antilles Guyane) et d'expertise se sont associés à la collectivité afin de caractériser les impacts des activités terrestres sur le milieu marin et proposer des actions de prévention ou limitation des impacts. Deux enjeux prioritaires sont mis en avant : la diffusion des pollutions chimiques et organiques, impliquant notamment une eutrophisation accrue de la baie, mais plus encore le transfert des particules solides, qui accélère l'envasement du littoral et détruit les récifs coralliens et biocénoses associées (Dao *et al.*, 2008).

2. Diagnostic et spatialisation de la vulnérabilité à l'érosion sur le territoire

Le diagnostic des zones d'apports terrigènes a constitué la première étape de la recherche-objet. Pour ce faire, la construction d'un indicateur de vulnérabilité structurelle¹ à l'érosion a été choisie, via une modélisation qualitative, où seule l'érosion hydrique superficielle et non celle de masse (liée aux glissements de terrain) fût traitée. L'approche par indicateur nécessite de choisir un nombre restreint et pertinent de paramètres, afin d'établir des règles de décision (approche experte) pour aboutir, à partir de paramètres indépendants, à l'indicateur composite final.

¹ Par opposition à la vulnérabilité conjoncturelle, telle celle résultant d'un aléa climatique particulier et de pratiques culturelles à un instant t donné.

- Le premier paramètre est la **couverture du sol**² : les surfaces imperméabilisées ne sont pas génératrices d'érosion, mais sont impliquées dans la formation et l'accélération du ruissellement. Le couvert végétal est un facteur clé puisque selon Roose, 1994, l'érosion est multipliée par 1000 lorsque, toutes choses étant égales par ailleurs, le couvert végétal diminue de 100% à 0%. Ainsi, pour hiérarchiser les différences dans l'occupation du sol, nous avons retenu l'ordre relatif des valeurs données par des modèles empiriques (Vigiak et al., 2005, Hessel et al., 2005, Hoyos, 2005). Par ailleurs, une étude sur l'érosion en parcelle expérimentale à la Martinique (Khamsouk, 2002) a permis de discriminer deux types de couverts en banane (âge de plus ou moins 2 ans). Les travaux de Roose (1994) permettent enfin d'estimer les pertes en terre sous les couverts denses et complets toute l'année (prairies, bois, savanes...).
- La **topographie** est le second paramètre classiquement utilisé, à deux niveaux :
 - L'inclinaison de la pente : l'ensemble des auteurs ayant travaillé sur l'influence de l'inclinaison de la pente s'accorde à dire que l'érosion croît exponentiellement avec la pente pour des sols nus ou des sols recouverts partiellement par une culture³. Toutefois ces résultats sur l'amplification de l'érosion avec la pente sont à nuancer avec ceux obtenus pour le ruissellement, Hudson 1957, Lal, 1975, Roose, 1973 et Khamsouk en 2001 ayant observé que le ruissellement se stabilise autour de 20% de pente.
 - La longueur de la pente : elle est connue comme étant un facteur aggravant de l'érosion (Zing, 1940 et Hudson, 1973). Ce paramètre est pris en compte par le calcul de l'accumulation des flux d'eau, via un algorithme « D8 » créé par Jenson et Domingue, 1988, appliqué au Modèle Numérique de Terrain (MNT) de l'IGN. L'utilisation du MNT et de cet algorithme permet de distinguer les zones où le ruissellement se concentre à l'extrême, « traçant » ainsi un réseau hydrographique théorique. Le paramètre « accumulation de l'écoulement » apporte donc une information sur la vulnérabilité à l'érosion linéaire.
- Le dernier paramètre pris en compte est l'**érodibilité** des sols : de nombreux paramètres peuvent la décrire mais ceux-ci sont très variables dans le temps et dans l'espace. De manière à conserver le caractère qualitatif et générique du modèle, nous avons utilisé le type d'argile des différents sols et leurs propriétés de retrait/gonflement (carte pédologique au 1/20 000^e de Colmet-Daage, 1969), de manière à s'intéresser davantage à la stabilité structurale des sols qu'à l'érodibilité. On rencontre sur le territoire d'étude une majorité de **sols brun-rouge à montmorillonite** et ferrisols compacts.

Une fois ces paramètres identifiés⁴, l'approche de modélisation par arborescence logique (Le Bissonnais, 2002) est proposée :

² Acquise via le projet PARAGE « Evaluation de l'occupation Agricole des sols dans les Régions Antilles et Guyane », sur trois périodes disponibles : novembre 2006, avril et mai 2007.

³ Lal (1976), a montré au Nigeria qu'entre 1 et 15% l'érosion est négligeable en présence de résidus de surface, d'autres mesures laissent à penser que les pentes de 15 à 20% constituent un seuil à partir duquel les phénomènes érosifs s'accroissent.

⁴ Le facteur ou l'aléa climatique n'est pas utilisé dans le modèle : une analyse fréquentielle des épisodes pluvieux entre une station sur le littoral et une station « haute » de la zone d'étude ne montre pas de différence significative du régime pluviométrique. Une homogénéité de l'aléa est ainsi posée comme postulat.

- Pour chaque variable précédemment listée, on définit des classes en nombre limité. Par exemple, pour la variable « occupation du sol », 10 classes représentant la diversité spatiale de l'occupation du territoire sont proposées : habitat diffus, forêt, savane, canne à sucre...
- On identifie ensuite les combinaisons possibles entre chaque variable. Une combinaison fait donc référence à un jeu de quatre classes (une classe par variable). Ainsi, si 10 classes sont données pour chacune des 4 classes retenues, nous obtenons 10^4 possibilités. Ce chiffre est réduit par le nombre prédéfini de classes (2 à 4 classes seulement pour certains paramètres) et par l'élimination de combinaisons inexistantes (pas d'agriculture sur des sols très pentus par exemple).
- Au final, l'arborescence fournit toutes les situations possibles, le recours à l'expertise et à la connaissance du terrain réduit *in fine* le nombre de ces situations en sept catégories différentes, représentées par un indice de sensibilité à l'érosion.

Le résultat cartographique permet alors d'identifier et de hiérarchiser des espaces sur lesquels la vulnérabilité est supposée importante et où le diagnostic préalable mérite d'être approfondi.

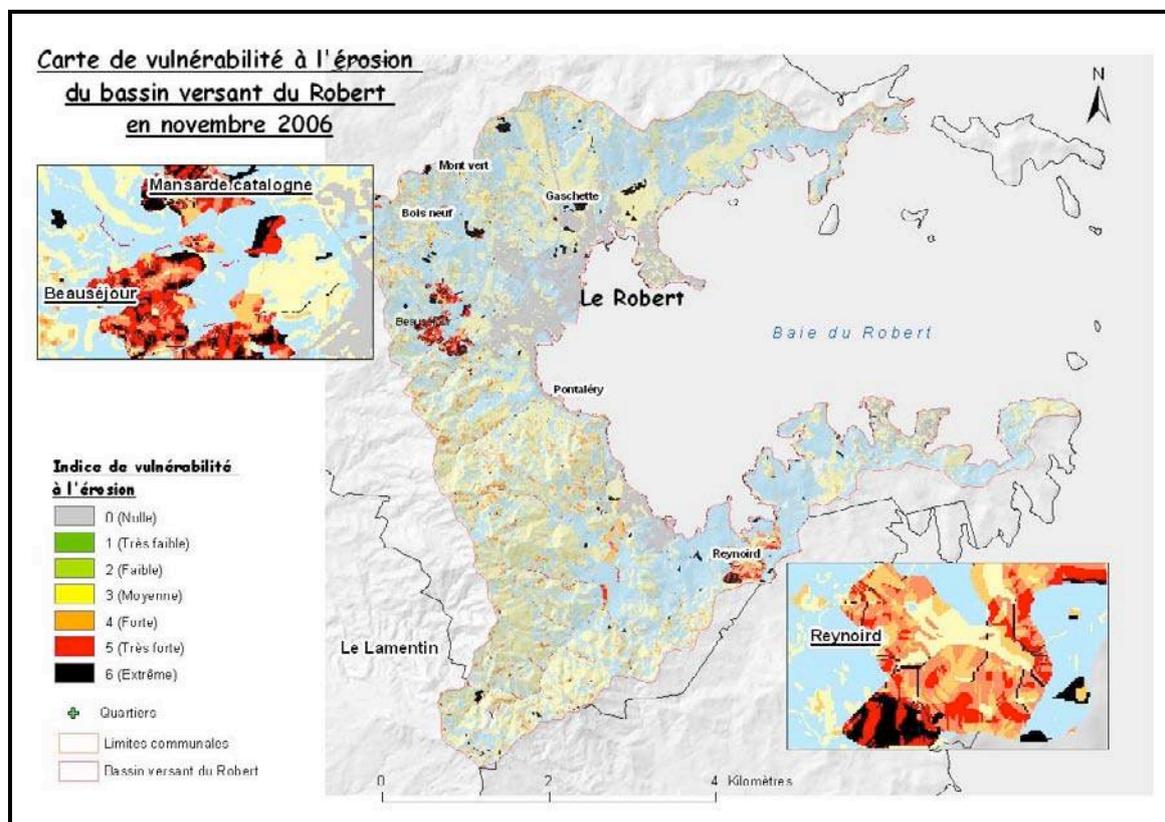


Figure 1 : Cartographie de la vulnérabilité à l'érosion du bassin versant du Robert, novembre 2006

Les secteurs considérés comme les plus contributifs à l'érosion sont donc mis en évidence : il s'agit notamment des secteurs cultivés en banane et des zones temporaires de travaux et chantiers. Notons que cette cartographie peut être actualisée par acquisition d'images satellitaires et photo-interprétation de l'occupation des sols du territoire. Les travaux sur la spatialisation de la vulnérabilité à l'érosion permettent donc d'ores et déjà d'identifier les zones prioritaires sur lesquelles cibler les efforts d'actions préventives. La mise en place de techniques de

lutte antiérosive (à la parcelle avec des itinéraires techniques adaptés et partagés, aménagement des berges des cours d'eau, etc...) pourra utilement s'appuyer sur la cartographie établie à l'échelle du bassin versant. Des travaux de recherche sur l'origine des matières en suspension seraient alors à envisager pour affiner l'expertise et les aménagements proposés en ce sens.

Si l'indicateur représente bien la sensibilité d'objets spatiaux de référence (résolution 5 m x 5 m) à des formes d'érosion hydrique superficielle, il n'exprime cependant pas la quantité de terre réellement exportée vers le milieu marin. De plus, les voies artificielles d'écoulement, tels que les fossés et réseaux de collecte des eaux pluviales, n'ont pas été prises en compte dans la modélisation. Le risque de transfert, faisant appel à la connectivité des zones érodées au réseau hydrographique superficiel, a pu être appréhendé par la prise en compte de la proximité des écoulements superficiels avec les zones contributives à l'érosion.

Les informations qualitatives obtenues suite à cette spatialisation sont ensuite confrontées aux données de terrain. Ainsi, des sous-bassins versants ont fait l'objet d'investigations poussées pour :

- Valider le modèle par des observations directes et des enquêtes auprès d'acteurs, majoritairement des agriculteurs et résidents : le modèle reflète de manière satisfaisante la réalité de terrain, ceci pour des intensités ou des durées de pluie non extrêmes.
- Etablir des cartographies détaillées des zones de production de matières terrigènes, des zones de transfert ainsi que des zones de dépôt.
- Instrumenter des stations de mesure pour acquérir des connaissances complémentaires sur le transport solide des écoulements en présence.

3. Suivi du transport solide dans les eaux superficielles

3.1. Dispositif de mesures et protocole de suivi

Afin de caractériser la dynamique de transport solide dans les eaux superficielles et ses variations spatio-temporelles, un dispositif de 4 stations de mesure a été mis en place sur des secteurs préalablement diagnostiqués (figure 2), différenciés par les facteurs suivants : superficie de l'impluvium, occupation du sol, pratiques anthropiques (itinéraires techniques), nature des écoulements (une ravine temporaire et deux cours d'eau permanents). La campagne de mesure s'est étalée de juillet 2008 au mois de mai 2009.

L'étude des transferts de polluants physiques et chimiques a fait appel à une instrumentation ad hoc permettant de suivre les paramètres pluviométriques (Campbell, ARG 100 à augets basculeurs : cumul de pluie, intensité, durée de l'évènement), hydrologiques (sondes de pression Keller et Campbell : relation hauteur d'eau / débit par construction de courbes de tarage) et physico-chimiques (température, concentration en MES (turbidimètre) et polluants chimiques, essentiellement pesticides) des cours d'eau concernés.

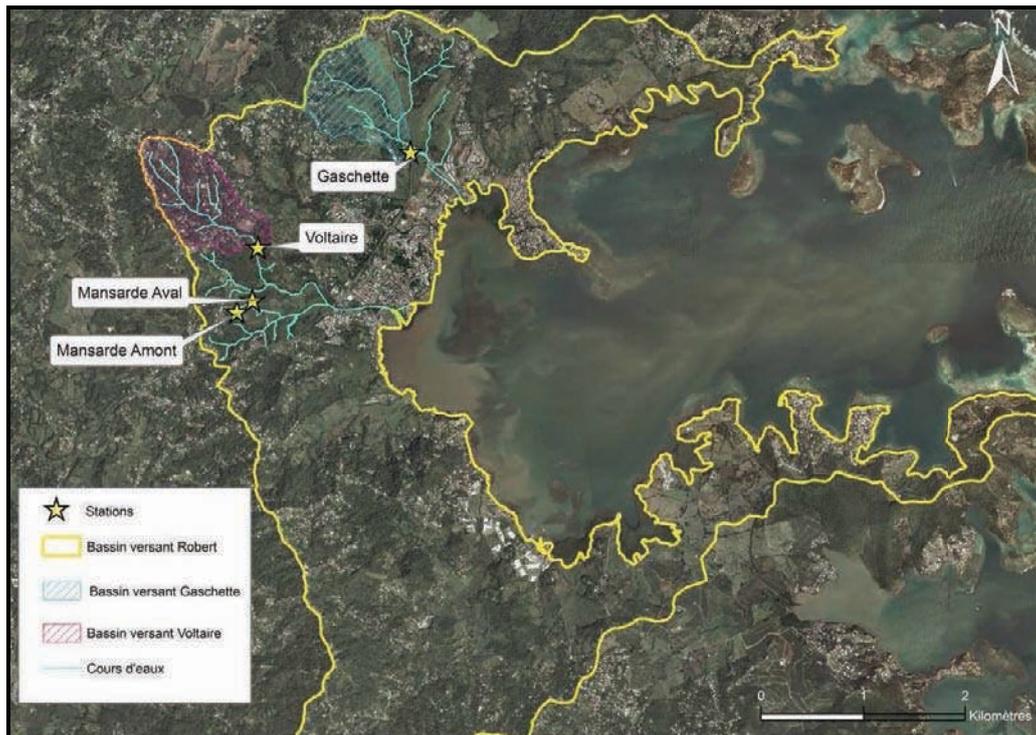


Figure 2 : Localisation des stations de mesure sur les mirco-bassins versants

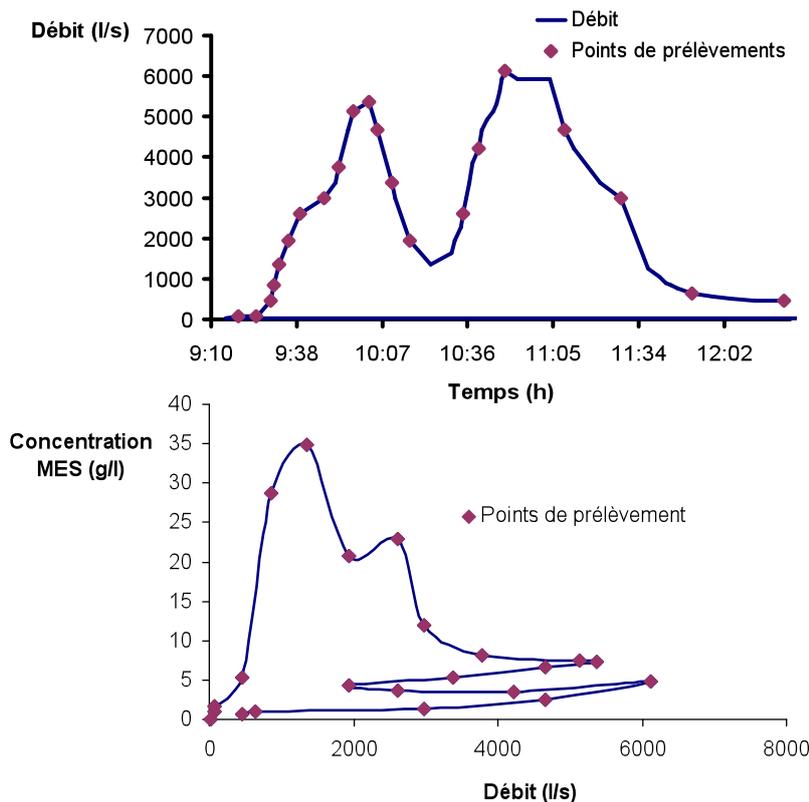
Nous nous sommes intéressés au suivi du transport solide suivant ses deux composantes : la suspension des particules les plus fines et le charriage des matériaux plus grossiers. Pour ce faire, différents types de suivi ont été réalisés, en fonction des contraintes d'ordres technique et organisationnel :

- Pour les matières en suspension (MES), un échantillonnage manuel sur quelques périodes d'étiage et sur les crues, ainsi qu'un suivi en continu par sondes de mesure in situ afin de mesurer les variations de concentrations en MES lors d'événements pluvieux. Les mesures, effectuées au pas de temps de la minute, sont alors enregistrées en continu dans la station d'acquisition et relevées toutes les deux semaines.
- Des pièges à sédiments sur deux stations de mesure (ravine Mansarde, amont et aval des parcelles agricoles) pour casser l'énergie hydraulique et favoriser le dépôt des matériaux charriés. La mesure du volume des sédiments déposés se faisant à la suite de chaque événement de crue.

3.2. Principaux résultats

a) Réponse des bassins versants aux évènements de crues

Afin d'appréhender au mieux la dynamique de transport des MES lors des crues, un échantillonnage des crues est réalisé manuellement, en cherchant à obtenir un nombre de couples [concentration – débit] le plus représentatif possible de l'événement (figure 3a). Si on ne peut observer de relation univoque entre la concentration et le débit pour l'ensemble des mesures de MES, on observe en général une relation concentration-débit (figure 3b) qui présente une forme d'hystérésis (Borges, 1993 ; Mathys et al., 1989, Williams, 1989).



3.a) Points d'échantillonnage lors d'un événement de crue : station Gaschette le 19 septembre 2008

3.b) Courbe d'hystérésis obtenue suite à l'analyse des échantillons

Figure 3 : a) Points d'échantillonnage lors d'un évènement de crue
b) courbe d'hystérésis lors de la crue du 19 septembre 2008, rivière Gaschette

Williams, en 1989, propose une typologie des crues selon l'allure de la courbe traduisant les variations des concentrations en fonction de celles des débits pendant la crue. Ainsi la réponse des hydrosystèmes est-elle différente d'un sous-bassin à l'autre, en fonction notamment de l'occupation des sols et de la nature des écoulements considérés :

- Une mobilisation conséquente des matériaux détritiques des berges proches de la station de mesure (exutoire du sous-bassin) pour la **rivière Voltaire**, liée à l'accélération des écoulements et l'augmentation de la force hydraulique par les aménagements amont (imperméabilisation des surfaces) ;
- Une remobilisation des matériaux en abondance dans le lit de la **ravine Mansarde**, confirmant l'hypothèse posée par Pinte, 2006, d'une mobilisation des matériaux jusqu'à l'exutoire par reprise des matériaux déposés lors des crues précédentes ;
- Un fonctionnement plus complexe sur le bassin versant de la **rivière Gaschette**, qui demande à chercher les régimes critiques de début de transport des différents bassins pour les comparer entre eux. Une comparaison des réponses des bassins de Voltaire et Gaschette nous a conduit à déterminer une plage de débits critiques, voisins de $2 \text{ m}^3/\text{s}$, à partir de laquelle les réponses exprimées en concentrations de MES sont clairement différenciées et dont la tendance n'évolue plus.

Les courbes d'hystérésis nous permettent par la suite d'interpoler la valeur de la concentration en chaque point de l'hydrogramme (méthode par « rating-curve », Mathys, 2006).

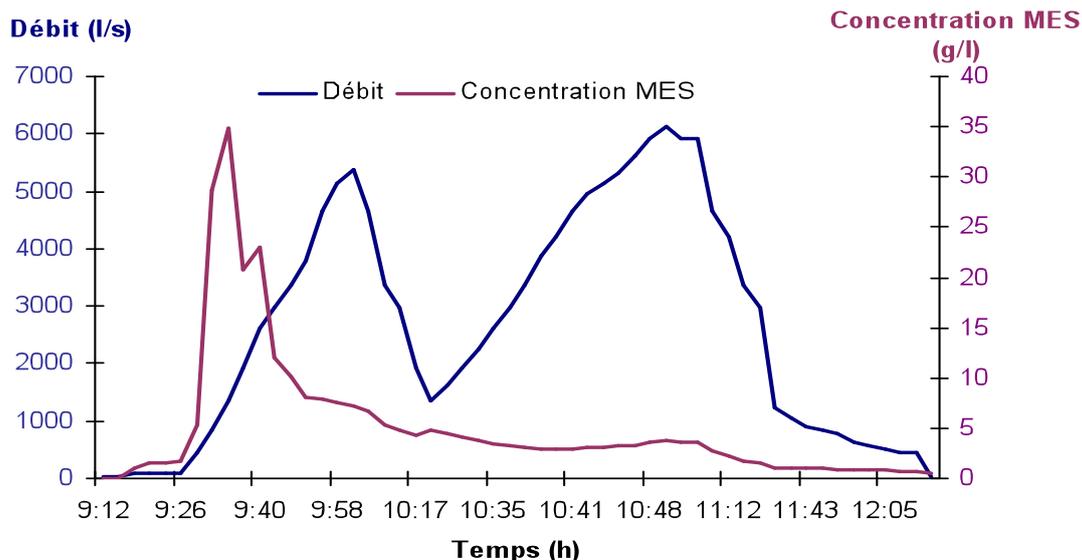


Figure 4 : Hydrogramme et sédimentogramme, crue du 19 septembre 2008, rivière Gaschette

Cette méthode présente l'avantage d'utiliser la précision de la mesure sur les débits et leur variation au cours de l'évènement (débit enregistré au pas de temps de la minute), pour appréhender celle des concentrations de matières en suspension. Le calcul des flux de matières en suspension peut alors être effectué de manière à quantifier le volume transporté lors de l'évènement de crue (cf. infra).

b) Distribution du transport par suspension et par charriage sur Mansarde aval

Les observations démontrent que les composantes du transport solide ne sont pas réparties uniformément sur les différentes périodes de l'année. Ainsi, en période d'hivernage (août – décembre) sur la ravine Mansarde, le ratio entre transport par suspension et transport par charriage évolue-t-il comme indiqué ci-dessous.

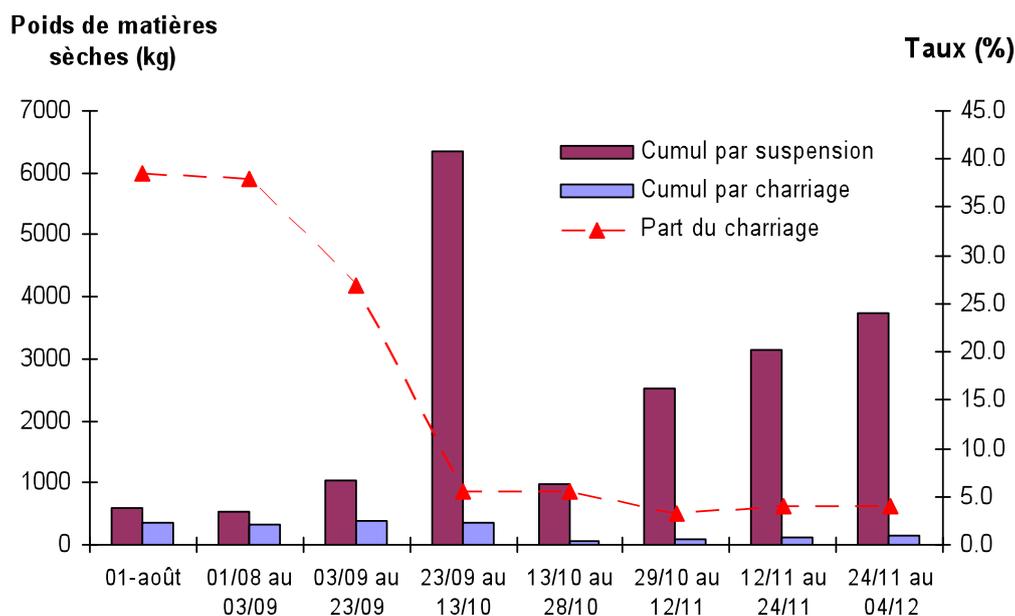


Figure 5 : Transport par suspension et par charriage sur la ravine Mansarde

Le taux de charriage, représentant 40 % du transport solide dans la ravine en début de saison des pluies, indique une abondance de matériaux grossiers du lit. Ce taux diminue sensiblement pour ne représenter plus que 5 % du volume solide total sur la fin de l'hivernage. Nous pouvons relier cette observation avec le graphe ci-dessous, représentant la dynamique de transport par charriage observée sur la même période.

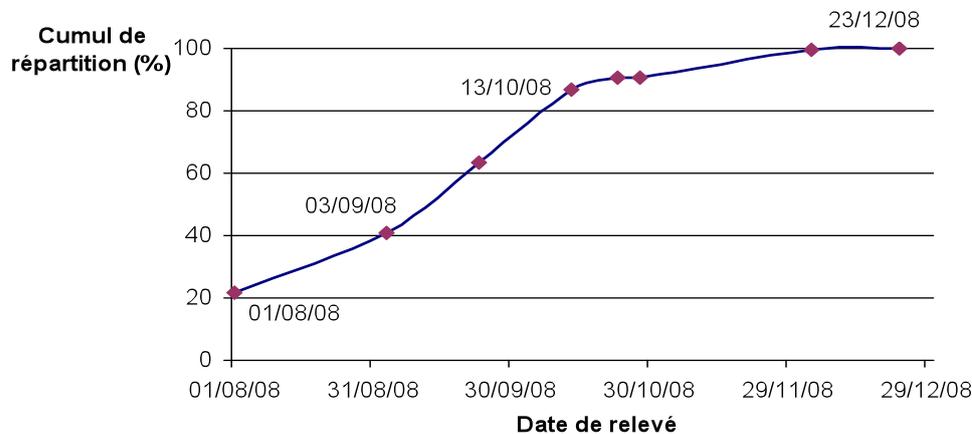


Figure 6 : Cumul de répartition des éléments charriés puis déposés dans la ravine Mansarde

Plus de 80 % des matériaux se sont déposés dans la première moitié de la période étudiée. Cette tendance peut s'expliquer par le fonctionnement morphodynamique de la ravine Mansarde à l'échelle annuelle : sous l'effet des nombreuses alternances humectation/dessiccation qui se déroulent en période de carême (janvier à juillet), alors qu'aucun écoulement n'est visible dans la ravine, les agrégats du lit se désagrègent et se fragilisent. Ils sont de ce fait faiblement liés entre eux et sont alors fortement disponibles : le charriage est élevé en début de période des pluies. Ce stock, facilement mobilisable en début d'année hydrologique, va diminuer au cours de l'hivernage, lorsque la ravine est en eau, par épuisement de matériaux mobilisables. Après une nouvelle période sèche ayant reconstitué le stock de particules disponibles, la même tendance devrait s'observer sur la séquence suivante d'épisodes de pluie (Lopez Periago and Soto, 2004).

c) Estimation des flux annuels de transport solide

Le traitement statistique des données hydrologiques acquises durant la campagne de suivi, couplé aux mesures de transport par charriage et suspension, a permis, par l'application d'un certain nombre d'hypothèses dans l'extrapolation et l'interprétation des données, d'estimer les flux annuels à l'échelle des trois petits bassins versants instrumentés (Nivet et al., 2009). Nous donnons ici quelques résultats sur le transport solide évalué à partir des campagnes de suivi et des analyses statistiques réalisées.

Bassins versants	Gaschette	Voltaire	Mansarde
Vulnérabilité estimée	8 à 15 t/ha/an	2 à 8 t/ha/an	8 à 20 t/ha/an

Figure 7 : Vulnérabilité à l'érosion sur les trois sites d'études, en tonnes de matière sèche par hectare et par an

L'ensemble de ces estimations aboutit à un ordre de grandeur de 10 tonnes de matières sèches par hectare et par an, dont nous faisons l'hypothèse qu'il s'agit d'une estimation *a minima*, sans évènement climatique majeur⁵.

Nous avons enfin cherché à tester l'utilisation d'une formule simplifiée du transport solide, en s'appuyant sur les différents coefficients donnés par Meunier (1999) et en vérifiant les conditions de validité de cette formule dans nos conditions expérimentales. Il s'avère que cette formule ($Q_s / Q_{cr} = B I^A$, Q_s étant le débit solide, Q_{cr} le débit critique de plein transport, I la pente moyenne du cours d'eau, B et A les coefficients à déterminer et à confronter à la littérature) semble pertinente à nos échelles d'observation pour une modélisation du transport solide à l'aide des coefficients de Smart et Jaeggi (Meunier, *op. cit.*), où $A = 2,5$ et $B = 1,6$. Toutefois, les faibles débits rencontrés sur la ravine Mansarde placent la formule à la limite de son domaine de validité et l'étendue granulométrique des sols bruns appellerait des mesures complémentaires afin d'apporter une réponse mieux argumentée. Nous proposons pour conclure de discuter et critiquer les méthodes employées ici pour de futures investigations sur le transport solide des cours d'eau des Antilles françaises.

4. Conclusion / discussion

La pression démographique à la Martinique entraîne des changements dans l'organisation spatiale des activités humaines à l'échelle de territoires à enjeux. L'imperméabilisation des surfaces ainsi générée modifie le cycle de l'eau, notamment par une augmentation et une accélération des écoulements de surface au détriment de l'infiltration dans les sols et le sous-sol. Les variations spatiales et temporelles des processus érosifs et du transport solide doivent ainsi être appréhendées pour comprendre ces mécanismes.

Au plan méthodologique, nous retiendrons que la fiabilité de la mesure optique et surtout la sécurité des équipements vis-à-vis des aléas sont des critères déterminants et sélectifs pour le choix des implantations (la détérioration et le coût de tels appareils auront été rédhibitoires sur la durée de notre étude). Les sites d'utilisation des turbidimètres et MES-mètres doivent donc répondre à certaines conditions : permettre l'immersion permanente des sondes de mesure et le bon positionnement de l'appareil dans le cours d'eau, l'ancrage du câble reliant l'appareil à la station pour résister aux forts courants, la protection du câble de liaison vis-à-vis des objets flottants ; et enfin disposer d'une alimentation électrique suffisante pour éviter les trous de mesure. L'estimation relativement fiable obtenue sur la rivière Gaschette met en évidence l'intérêt de disposer de préleveurs à déclenchement automatique pour mesurer efficacement les régimes critiques de plein transport qui sont des paramètres déterminants pour une évaluation juste du transport solide. Les turbidimètres et les prélèvements manuels seuls ne suffisent pas à caractériser ces régimes critiques essentiels. Par surcroît, une meilleure exploitation des mesures opérationnelles doit être recherchée de façon à discriminer les composantes de la vulnérabilité, dès lors que les mesures des évènements du cours d'eau seraient réalisées en continu au pas de temps de la minute.

⁵ P. Saffache estime, sur le territoire de la baie du Marin, que 2 km² de parcelles cultivées en maraîchage libèrent 26 000 tonnes de sédiments par an, contre 24 tonnes pour 3 km² de terres pâturées (Desse, Saffache, 2005).

Au plan heuristique, les mesures réalisées sur ces bassins versants anthropisés au relief énergétique, dont les pentes varient entre 5 à 30 %, ont permis d'aboutir à trois séries de résultats. Le comportement des bassins versants sur diverses classes de crue a été approché de manière exploratoire. Les composantes par charriage et suspension ont été discréditées sur la ravine Mansarde à l'échelle annuelle. L'érosion mesurée par le transport solide en suspension, largement majoritaire dans notre contexte, est évaluée par un ordre de grandeur de sa composante structurelle : 10 tonnes par hectare et par an, hors aléa climatique majeur. Les observations de la surface du versant au moment des ruissellements érosifs n'ont pas été suffisamment précises pour apporter davantage d'éléments. Par sécurité, nous avons retenu une incertitude relative de 50 % sur les mesures de concentration de MES. Ceci nous a amenés à conduire de front trois séries de calculs de façon à encadrer au mieux cette estimation : l'estimation maximale de la vulnérabilité, assimilée à sa composante structurelle, ne dépasse jamais 20 t/ha/an et l'estimation minimale ne descend jamais en dessous de 2 ou 3 t/ha/an. Cet encadrement stabilise l'ordre de grandeur estimé, mais ne prédispose pas des effets d'événements climatiques majeurs ou de flux localisés générés par les activités humaines.

BIBLIOGRAPHIE

Borges, A.L., 1993. Modélisation de l'érosion sur deux bassins versants expérimentaux des Alpes du sud. Thèse de doctorat en Mécanique, Université Joseph Fourier Grenoble I, 205 pp. **In Mathys, 2006.**

Colmet-Daage, F., 1969. Carte des sols des Antilles au 1/20000^e, Guadeloupe-Martinique (partie volcanique), ORSTOM, Centre des Antilles, bureau des sols.

Dao J-C. (coord.), 2008. Diagnostic préalable à l'aménagement intégré du territoire de la baie du Robert. Rapport final LITEAU II, MEDDMM.

Desse M., Saffache P., 2005. Les littoraux antillais : des enjeux de l'aménagement à la gestion durable. Paris, Ibis Rouge Éditions, 116 p.

Hessel, R., Van Den Bosch, R., Vigiak, O., 2005. Evaluation of the LISEM soil erosion model in two catchments in the East African Highlands. *Earth Surf. Process. Landforms* 31, 469–486 (2006).

Hoyos, N., 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena* 63 (2005) 85-108.

Hudson, N.W., 1973. Soil Conservation. Batsford, London. 320 p.

Jenson, S. K., et Domingue, J. O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 54, p 1593–1600.

Khamsouk, B., 2001. Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de cultures bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en

nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun rouille à halloysite). Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'ENSA Montpellier. 214 p.

Lal, R., 1976. Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control. IITA Monograph n°1, Ibadan 126p. **In Roose, 1994.**

Le Bissonais Y., Thorette, J., Bardet, C., Daroussin, J., 2002. L'érosion hydrique des sols en France. Rapport IFEN. 106 p.

Lopez Periago, E. and Soto, B. 2004. Modeling wash load transport of soil in a headwater catchment cultivated by non-tillage methods. *Journal of Hydrology*, 28, 1-4 : 19-33.

Mathys, N., Meunier, M. and Guet, C., 1989. Mesure et interprétation du processus d'érosion dans les marnes des Alpes du sud à l'échelle de la petite ravine. *La Houille Blanche*, 3/4: pp. 188-192. **In Mathys, 2006.**

Mathys, N., 2006. Analyse et modélisation à différentes échelles des mécanismes d'érosion et de transport de matériaux solides. Cas des petits bassins versants de montagne sur marne (Draix, Alpes-de-Haute-Provence). Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 346 p.

Meunier, M., 1999. Les torrents du Nord-Ouest de la Martinique. Hydrologie des crues, hydraulique et dynamiques torrentielles. CEMAGREF Editions, 403 p.

Nivet, A-C. (coord.), 2009. Caractérisation du transport solide en ravine et cours d'eau permanent. Site-atelier de la baie du Robert, CEMAGREF, 95 p.

Pinte, K., 2006. Diagnostic de l'érosion sur le bassin versant de la baie du Robert. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, INA P-G – CEMAGREF, 184 p.

Roose, E. et Sarrailh, J.M., 1989-1990. Erodibilité de quelques sols tropicaux : 20 années de mesures en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 25, 1-2 : 7-30.

Roose, E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO* n°70. 420 p.

Roose, E., Khamsouk, B., Lassoudière, A., Dorel, M., 1999. Origine du ruissellement et de l'érosion sur sols bruns à halloysite de Martinique. Premières observations sous bananiers. *Bulletin Réseau Erosion*, 19 : 139-147.

Vigiak, O. et al, 2005. Modelling catchment-scale erosion patterns in the East African Highlands, *Earth Surf. Process. Landforms*, 30, p. 183-196.

Williams Garnett, P., 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology*, 111(1-4): 89-106.

Zing, A.W., 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff. *Agric. Eng.* 21 : 59-64.

Risques d'inondation urbaine : cas d'une agglomération à l'aval de versants argileux terrassés dans l'Ouest algérien

MORSLI Boutkhal¹, HABI Mohammed²

¹ INRF, BP. 88 Mansourah Tlemcen 13000, Algérie. Email : morbinrf@yahoo.fr

² Université de Tlemcen – B.P. 230 Tlemcen, Algérie. E-Mail : moha.habi@gmx.de

Résumé

En Algérie, les terres sont soumises à des inondations répétées dont les conséquences se traduisent par la dégradation des voies de communication, l'inondation des terres agricoles occupant les dépressions et les terrasses alluviales, et parfois même par l'inondation de certaines agglomérations entraînant quelquefois des pertes humaines.

Les inondations des agglomérations résultent de pluies torrentielles dont les effets sont souvent amplifiés par les facteurs naturels du relief et d'autres facteurs liés à une urbanisation anarchique (construction en zones inondables) et non maîtrisées (manque d'entretien des réseaux d'assainissement), bassin versant dénudé, passage de feux de forêts sur le versant...

La petite agglomération du village Tafna –Tlemcen, situé sur la rive de l'oued de Tafna présente un grand risque d'inondation par l'oued mais surtout par les versants marneux dénudés qui surplombent le village. Dans le cadre de la lutte contre les inondations, des techniques antiérosives ont été réalisées pour atténuer le phénomène érosif sur les versants concernés et pour stopper et diriger en aval les eaux de ruissellement afin de protéger l'agglomération se trouvant en aval. Les versants sont traités par des aménagements de correction torrentielle (seuils en gabions et en pierres sèches) en vue d'un traitement efficace et durable contre les inondations. A l'aval des canaux (qui ressemblent beaucoup aux banquettes) parallèles aux courbes de niveau les talus ont été ouverts pour évacuer les eaux de ruissellement vers des exutoires naturels et où le bourrelet est renforcé par un muret cimenté.

Cette étude a pour objectif l'évaluation de l'impact de ces aménagements sur l'atténuation des inondations. La méthode repose sur des investigations de terrain et sur des enquêtes auprès de la population locale.

Les résultats montrent que les aménagements ont bien fonctionné pour étaler les pointes de crues et dans la rétention des sédiments, mais une fois remplis, les eaux de ruissellement très chargées ont continué à menacer la population. Les digues d'aval se sont rapidement envasées et le débordement des eaux a causé beaucoup de ruptures ce qui a encore amplifié le phénomène d'inondation. Les dispositions prises ne semblent pas bien adaptées à ce type de milieu argileux très instable. Dans ce type de milieu, il est recommandé de prendre des mesures préventives par : une conception d'aménagement globale (formulation et mise place de vraies réponses bien structurées selon une démarche globale), le bon choix des techniques adaptables (mécaniques mais surtout biologiques), l'entretien et le suivi continu des aménagements et le respect des instruments d'urbanisme. Par exemple, il faut interdire les constructions à l'aval des versants instables et en bordure des oueds qui présentent de grands risques.

MOTS CLES : Erosion- inondation – Versants argileux- Aménagements antiérosifs – Algérie.

Introduction

En Algérie, les terres sont soumises à des inondations répétées, d'intensité plus ou moins importante, dont les conséquences se traduisent souvent par la dégradation des voies de communication, l'inondation des terres agricoles occupant les dépressions et les terrasses alluviales. Il s'en suit parfois l'inondation de certaines agglomérations avec quelquefois des pertes humaines. Dans le Monde, les inondations représentent plus de 50 % des catastrophes naturelles et causent en moyenne 20 000 morts par an.

Les inondations des agglomérations résultent de pluies torrentielles dont les effets sont souvent amplifiés par les facteurs naturels du relief et de la couverture du sol ainsi que d'autres facteurs liés à une urbanisation anarchique (construction en zones inondables) et non maîtrisée (manque d'entretien des réseaux d'assainissement).

Les inondations en Algérie sont rarement dues à des perturbations météorologiques de grande envergure mais sont le plus souvent causées par des orages localisés. Ces orages sont souvent accompagnés de pluies torrentielles qui ne durent pas longtemps mais qui peuvent être d'une extrême violence en provoquant des ruissellements importants qui entraînent une érosion intense et des inondations. En moyenne, on enregistre plus de 30 cas d'inondations par an (Tabet Aouel, 2008).

La petite agglomération du village Tafna –Tlemcen, situé sur la rive de l'oued de Tafna, est apparue comme un bon exemple pour mettre en évidence les causes et les conséquences des inondations d'une part et pour l'analyse des aménagements de lutte antiérosive sur versants, d'autre part. Le village est confronté à plusieurs défis : risque d'inondation par les torrents qui se déversent des versants marneux dénudés qui surmontent le village, risque d'inondation par l'oued de Tafna et risque d'inondation par débordement du barrage de Boughrara situé en aval. Cette agglomération est assiégée par les eaux qui dévalent des terrains marneux très dégradés.

Dans le cadre de la lutte contre les inondations des techniques antiérosives ont été réalisées pour atténuer le phénomène érosif dans les versants concernés et pour diriger en aval les eaux de ruissellement afin de protéger l'agglomération. Les versants sont traités par des aménagements de correction torrentielle (seuil en gabions ou en pierres sèches) en vue d'un traitement durable contre les inondations. A l'aval, des canaux de dérivation (qui ressemblent beaucoup aux banquettes) parallèles aux courbes de niveau, ont été ouvertes pour évacuer les eaux de ruissellement vers des exutoires naturels. Le bourrelet des canaux est localement renforcé par un muret cimenté.

Dans cette étude nous nous sommes intéressés surtout au risque d'inondation par les torrents qui se déversent des versants marneux dénudés, surmontant le village. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de ces aménagements en banquettes sur l'atténuation des inondations..

2. Méthodologie

Compte tenu du manque de références bibliographiques sur lesquels pourrait s'appuyer notre analyse, nous avons opté pour une série d'investigations de terrain et d'enquête. La méthode repose d'une part sur l'analyse des facteurs causaux et d'autre part sur des mesures et des constatations sur site du comportement des

différents ouvrages. Les témoignages ont été également très utiles pour la compréhension de la dynamique et de l'impact du dispositif de lutte.

3. Résultats et discussion

Facteurs causaux et impacts

Les risques d'inondations sont révélateurs des dysfonctionnements de l'espace. L'analyse de l'espace à l'échelle du bassin versant a permis de mieux apprécier les conditions physiques à l'origine de ces phénomènes.

La région du village Tafna (Gaadi) a pour particularité de présenter à la fois une étroite vallée particulièrement plane, celle de l'oued Tafna, et des systèmes de montagnes à très fortes dénivellations et aux versants marneux et dénudés. L'accroissement urbain du village de Tafna résulte de la croissance démographique et des mouvements migratoires, transformant progressivement le petit hameau en agglomération. Tout autour du village, l'espace est très dégradé pour des causes multiples.

Le climat de la zone et en général de l'Algérie est caractérisé par une variabilité annuelle et interannuelle, avec des années sèches, normales et quelquefois humides. La quantité annuelle de précipitation à l'ouest de l'Algérie varie de 400 à 500 mm. Les précipitations se produisent principalement d'octobre à avril et sont souvent concentrées sur quelques jours ou quelques heures. Les récentes fluctuations climatiques au cours des trois dernières décennies, ont accentué cette irrégularité, les précipitations annuelles d'une année humide peuvent être 8 fois supérieures à celle d'une année sèche. Plusieurs événements de fréquence rare sont survenus ces dernières années, causant des dommages conséquents et marquant les esprits : la pluviosité a dépassé les 200 mm/jour. En 1969 on a observé 80 à 224mm/j entrainant plus de 50 morts. En 1974, avec 80 à 224 mm/jour on a déploré 45 morts. En 2001, après 150mm/2h on a compté 800 morts ...), ce qui dépasse l'intensité d'un pays tropical comme la Martinique (Tabet Aouel, 2008).

L'étude du climat, permet d'expliquer en partie les formes d'érosion spectaculaires observées dans la zone d'étude : l'aspect agressif des précipitations (des orages à allure torrentielle) et l'existence d'une saison sèche très marquée durant 6 mois. C'est un facteur essentiel de disparition de la végétation herbacée laissant un sol nu et sans protection en automne. Les pluies d'automne sont généralement plus violentes : c'est à cette période que la plupart des transports se réalisent (Morsli et al., 2004 ; Laouina, 1998). L'intensité maximum annuelle en 10 minutes, dans cette zone, peut atteindre 100 mm/heure (Mazour, 2004). Tinthoin (1948), a aussi noté que ces Monts enregistrent le plus de pluies torrentielles de tout l'Ouest algérien.

Le degré de sensibilité d'un milieu à l'érosion est fortement lié à la nature lithologique et pédologique. La zone de Gaadi, est occupée essentiellement par des marnes. Les Vertisols formés sur marne, à texture argileuse lourde (tab. 1), se caractérisent par un comportement hydrodynamique très particulier : le gonflement des argiles en saison humide et le retrait en saison sèche rend la zone plus vulnérable et provoque une dynamique érosive très diversifiée. En période sèche, la tranche superficielle du sol est soumise à l'évaporation. Se produit alors un retrait des

argiles qui se traduit verticalement par un tassement du sol et horizontalement par l'ouverture de fissures de retrait. Lorsque des précipitations tombent sur les versants dénudés et fissurés, le ravinement et les mouvements en masse s'accroissent par écoulement hypodermique. En période humide le sol est peu perméable, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans les ravines et les cours d'eau : d'où des crues brutales dans les torrents. La nature du terrain rend la zone très vulnérable au ravinement. Les averses intenses peuvent provoquer des ravinements de 100 à 300 t/ha/an, ou pire des glissements de terrain de plusieurs milliers de m³ de boue et des inondations brutales (Roose et al., 2000).

Tableau n°1 : Caractéristiques des sols de la zone de Gaadi (Tafna).

Profil	Granulométrie						MO (%)	CaCo ₃ (%)	pH (eau)	Infiltration (cm/h)
	A(%)	LG(%)	LF(%)	SG(%)	SF(%)	Texture				
1	60	14	20	2	4	Argileuse	0.5	49	8.45	12
2	53	23	13	6	4	Argileuse	2	22	8.25	9
3	23	26	24	11	16	LAS	2	37	8.55	13
4	55	17	23	2	3	Argileuse	1	17	8.11	12.5
5	59	16	23	0.5	1.5	Argileuse	2	18	8.35	8.5
6	53	9	12	12	1.4	Argileuse	1	25	8.17	10

Le taux de couverture du sol est très faible (taux de couverture < 20%). A l'exception des quelques îlots de reboisement et de plantations d'arbres fruitiers, la plupart des sols sont généralement dépourvus de végétation. L'Homme et les animaux jouent un rôle capital dans l'extension de la géodynamique actuelle (Sari, 1977).

La discontinuité ou l'absence de la couverture végétale, l'ampleur morphodynamique due à la faible résistance des terrains et de leurs pentes et la pression humaine (défrichage, surpâturage) limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement, ce qui occasionne souvent des écoulements importants et rapides qui se déversent des versants accentuant ainsi, la dynamique érosive et les risques d'inondation.

4. Caractéristiques du dispositif de lutte contre l'inondation de l'agglomération

Le dispositif technique mis en place (travaux destinés à mettre le village à l'abri des inondations) intégrait plusieurs aménagements antiérosifs au niveau des versants (photo 1). Le dispositif fut complété par un autre dispositif de dérivation des eaux.



Photo n°1. Une portion de versant marneux dénudé et tassé par le surpâturage, provoque l'inondation de l'agglomération par les torrents. Dispositifs de lutte anti-inondation : correction torrentielle et canaux de dérivation.

La première solution était de briser la force du courant et de sédimer les apports solides par des ouvrages mécaniques au niveau des ravines qui drainent les versants pentus et qui se déversent dans le village. C'est une correction qui comprend une succession de seuils en gabions et/ou en pierres sèches. Ces derniers présentent généralement un déversoir dans leur partie centrale et sont implantés en escalier. Cette disposition permet théoriquement la dissipation de l'énergie des écoulements et conduit progressivement à une modification de la pente du talweg évoluant théoriquement à long terme vers la pente d'équilibre du torrent caractérisé par la disparition de tout phénomène d'arrachement et de dépôt.

L'autre envisageait de détourner les eaux qui dévalent du versant vers des exutoires naturels plus stables en dehors du village, en creusant des canaux perpendiculaires à la pente, ressemblant à des banquettes de dérivation. Ces canaux ont pour objet de collecter, en temps de crue, toutes les eaux qui descendent vers le village et de les conduire vers des exutoires naturels situés hors du village.

En cas des grands orages, pour éviter que les eaux débordent des fossés, le bourrelet aval du fossé est renforcé dans certains endroits par un mur en pierres. Ce renforcement a permis d'accroître la capacité de stockage du système.

Ces deux dispositifs combinés devaient contribuer au ralentissement des écoulements et permettre d'atteindre l'objectif global de réduction du risque d'inondation.

5. Analyse de l'efficacité des aménagements

L'analyse des facteurs du milieu a bien montré la sensibilité de la zone aux risques d'érosion et d'inondation. Cette situation nécessitait des interventions urgentes. Les aménagements réalisés dans cette zone rentrent dans ce cadre.

Les dispositifs mis en place ont permis d'engager un vaste programme d'aménagements (volume total des seuils > 2500 m³) sur différents sous bassins. L'idée de ce dispositif est bonne mais beaucoup de lacunes ont réduit les objectifs escomptés.

D'une part, certains ouvrages ne se prêtent pas beaucoup à ce type de milieu, les terrains argileux, caractérisés par un comportement hydrodynamique particulier. Les seuils en pierres sèches ne résistent pas beaucoup aux terrains instables comme ceux des marnes. La même chose pour les canaux de dérivation et les murs de soutènement des bourrelets qui peuvent induire les risques de mouvements de terrain. En effet, sous l'effet de la sécheresse, le phénomène de retrait - gonflement des argiles entraîne localement des mouvements de terrain et la rupture des canaux.

D'autre part, les travaux se limitaient en général à des aménagements ponctuels aux alentours du village (dispersion des aménagements). La réalisation des travaux de lutte contre l'inondation, suivait presque systématiquement les grandes inondations. La totalité du bassin, surtout les versants amonts, n'ont pas été concernés par l'aménagement. Les ruissellements sont peu retenus par les versants en amont et les systèmes de gestion des terres pratiqués ont tendance à envoyer rapidement les eaux vers l'aval en absorbant peu de lame d'eau. La dynamique hydrique des sols argileux vertiques est très particulière, l'infiltration est très liée à l'état hydrique et structural du sol (fig.1). Les ruissellements et les torrents viennent principalement des terrains d'amont, très dénudés et tassés (piétinement des animaux). Sur ce point, les aménagements n'étaient pas bien pensés. L'absence d'intégration spatiale de la lutte antiérosive, dans le cadre d'une politique globale de l'aménagement se solde souvent par des résultats médiocres (Taabni, 1998).

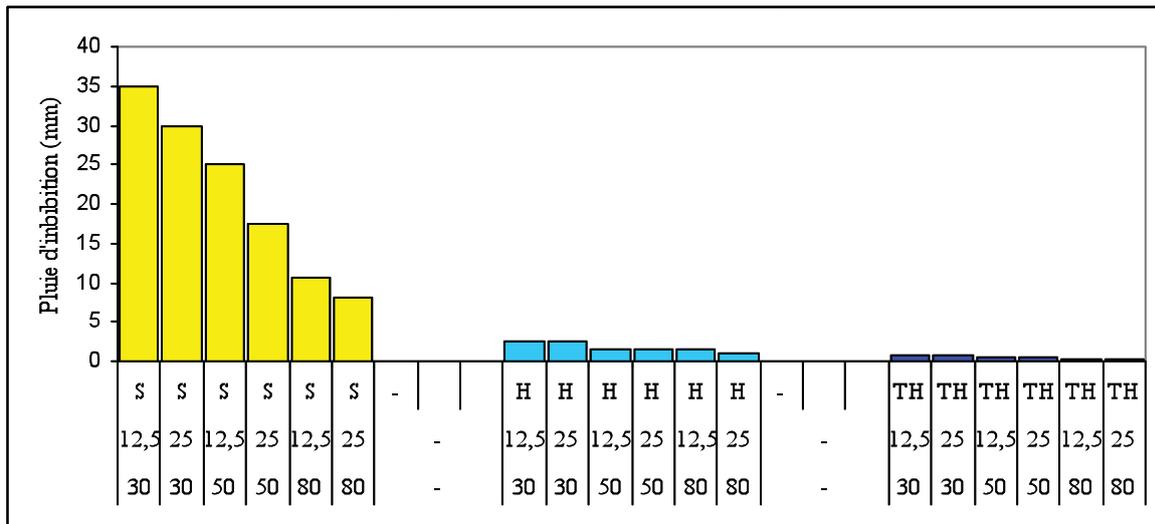


Figure n°1 : Pluie d'imbibition (Pi en mm) des sols argileux sur marne en fonction de l'intensité des pluies (30, 50, 80mm/h), de l'état de surface (sec, humide, très humide) et de la pente (en %).

Sur le plan technique, certains ouvrages (seuils), installés le long des talwegs pour diminuer la vitesse du ruissellement, ont cédé ou sont contournés, en libérant beaucoup de sédiments qui sont retenus derrière les ouvrages, accentuant ainsi la dynamique érosive et l'ensevelissement des canaux de dérivation. En plus, la conception des ouvrages de correction torrentielle n'était pas très efficace : les seuils n'étaient pas assez rapprochés (pente de compensation > 10%). Il aurait été plus ingénieux de mettre en place une densité plus élevée de ce type d'ouvrage et les résultats auraient été meilleurs.

Les seuils en gabion se sont avérés plus stables, que ceux en pierres sèches qui présentent un mauvais comportement sur les terrains marneux et pentus, surtout vis-à-vis de l'érosion ravinante régressive. Dans beaucoup de cas, les sous dimensionnements ont provoqué la destruction des ouvrages. Les décisions trop hâtives de construction qui ont souvent pris le pas sur les études de faisabilité sont à l'origine des anomalies et des endommagements. Ne devrait-on pas s'orienter vers un dimensionnement supérieur des ouvrages accompagné d'une série de travaux d'aménagement des zones de l'amont ? Les seuils de correction torrentielle réalisés ont une chance (plus de 95 %) de résister aux crues maximales de fréquence de 20 % (Zekri, 2003).

La présence de ces aménagements a réduit la vitesse des torrents mais n'a pas modifié considérablement les proportions d'eau de ruissellement qui parviennent en aval et qui provoquent l'inondation de l'agglomération.

La lutte contre l'inondation ne doit pas être réduite aux travaux techniques, réalisation d'ouvrages mécaniques de défense, mais doit allier des aménagements agricoles et biologiques dans les espaces agricoles d'amont. Un aménagement efficace, réside dans l'équilibre à trouver entre la protection du village et la préservation des espaces naturels et agricoles qui constituent la source des eaux de ruissellement. Ce dernier provenant des versants peut dépasser les 30% et atteindre même 80% durant les fortes averses sur des sols très dégradés et tassés (ROOSE

et al., 1993 ; MORSLI et al, 2004). Les modifications de l'occupation du sol par des pratiques non adéquates (déboisement, suppression des haies, surpâturage, pratiques agricoles non appropriées, imperméabilisation) empêchent l'infiltration de l'eau dans le sol et favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux. Il s'agit de passer de la lutte contre les torrents et les crues, solution insuffisante et incomplète, à la gestion du risque inondation, principe plus réaliste et plus efficace.

La tendance actuelle à des inondations fréquentes pourrait entraîner d'autres risques au niveau des zones inondables : problèmes d'instabilité du terrain qui sont déjà observés au niveau des habitations. Les inondations accentuent le phénomène de retrait - gonflement des argiles, rendant les habitations plus vulnérables, provoquant ainsi des tassements différentiels et des fissurations des habitations.

Dans ce type de milieu, les effets du ruissellement et de l'érosion, lors des orages intenses, sont encore plus catastrophiques lorsque l'homme s'installe sur des zones instables et inondables. Du ravinement accéléré, des inondations et des mouvements en masse peuvent se produire en mettant en péril les infrastructures et la vie des hommes.

6. Conclusions

La dynamique érosive au niveau de la zone d'étude est très active et présente des risques majeurs et les impacts se font sentir à plusieurs niveaux. Les processus érosifs sont exacerbés par l'agressivité du climat, la régression du couvert végétal, la faible résistance des terrains marneux et aux fortes pentes et surtout à la pression humaine (surexploitation des milieux, défrichement abusif, surpâturage incontrôlé, habitations anarchiques...). Cette situation limite l'infiltration des pluies et accentue le ruissellement, ce qui occasionne souvent des écoulements importants et rapides qui se déversent des versants, accentuant ainsi, la dynamique érosive et le phénomène d'inondation.

Implantées dans des environnements fragiles, les aménagements de lutte contre les inondations dans cette zone, apparaissent comme des aménagements innovants. Ils sont susceptibles d'assurer la protection de l'agglomération. Mais leur efficacité et leur durabilité demeurent, cependant, fonction de nombreuses conditions.

Les résultats obtenus montrent que les aménagements ont bien fonctionné dans l'étalement des pointes de crues et dans la rétention des sédiments, mais une fois remplis, les eaux de ruissellement très chargées ont continué à menacer la population. Les canaux d'aval se sont rapidement envasés en créant le débordement des eaux qui a causé beaucoup de rupture. Ceci a amplifié le phénomène d'inondation dans certains endroits. Même si l'idée est originale, les dispositions prises ne semblent pas bien adaptées à ce type de milieu argileux très instable.

Dans ce type de milieu, il est recommandé de prendre des mesures préventives par : une conception d'aménagement globale (formulation et mise en place de vraies réponses bien structurées selon une démarche globale), un bon choix des techniques adaptables (mécaniques mais surtout biologiques), un entretien

et un suivi continu des aménagements et le respect des instruments d'urbanisme. Enfin, il faut interdire les constructions à l'aval des versants instables et en bordure des oueds qui présentent de grands risques.

Bibliographie

- LAOUINA A., 1998. Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. Bull., Réseau-Erosion n°18, IRD, Montpellier : 33-53.
- MAZOUR M., 2004. Etude des facteurs de risque de ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser, Tlemcen, Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen.
- MORSLI B., MAZOUR M., MEDEDJEL N., HAMOUDI A., ROOSE E., 2004 – Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du Nord ouest de l'Algérie. *Sécheresse* 15, 2 : 96-104.
- MORSLI B., 1996. Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne - Cas des monts de Beni-Chougrane. Thèse de Magister INA El Harrach Alger.
- ROOSE E., CHEBBANI R., BOUROUGAA L., 2000. Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Sécheresse* 11, 4 : 317 - 326.
- ROOSE E., CHEBBANI R., ARABI M., BRAHMIA K., MAZOUR M., MORSLI B., 1993. Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne - Recherche sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne méditerranéenne algérienne. Cah. ORSTOM Pédol, 27, 2 : 289-307.
- SARI D., 1977 – *L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis Algérie*. 1e édition ; SNED, Alger. 450 p.
- TAABNI M., 1998 - Aménagement, lutte contre l'érosion des terres et pratiques paysannes dans les montagnes telliennes du Nord-Ouest algérien. Bull. Réseau Erosion n° 18, IRD, Montpellier : 348 - 363.
- TINTHOIN R., 1948.- Les aspects physiques du Tell Oranais. Ed. I. Fouque, Oran, 589 p + Annexes.
- ZEKRI N., 2003. Analyse du facteur de l'agressivité climatique et son influence sur l'érosion et le ruissellement dans le bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest). Mém. Mag. Dép. Foresterie, Univ. Tlemcen, 160 p.
- TABET-AOUEL M., 2008. Changement Climatique et Agriculture au Maghreb. Comm. « *Agriculture et développement rural durables en Méditerranée* » 8-10 mai 2008 Institut agronomique méditerranéen de Bari.

COMPORTEMENT DE CERTAINES TECHNIQUES TRADITIONNELLES SUITE AUX EVENEMENTS PLUVIOMETRIQUES EXCEPTIONNELS DE 2008-2009 dans le NW de l'Algérie

Mohamed MAZOUR¹, Malika BENMANSOUR¹, Mostafia BOUGHALEM¹,

¹Université de Tlemcen, BP 119 Tlemcen Algérie, Tél: 213 43 21 36 80 ; mohamed_mazour@yahoo.fr

Résumé:

L'érosion hydrique est un vieux problème dans les montagnes méditerranéennes où l'homme a développé depuis des siècles des techniques de LAE capables d'en réduire les effets néfastes. L'année 2008 – 2009 a connu une pluviosité exceptionnelle : 300% du module pluviométrique annuel à certains endroits des monts de Béni Snous et les montagnes côtières de Honaine et Zouanif (plus de 1100 mm de pluie). Les intensités maximales des événements pluvieux ont été aussi très élevées (80 mm/heure durant 30 minutes à Béni Snous).

Cette étude a pour objectif de tester la stabilité, la fiabilité et l'efficacité antiérosive de quelques aménagements antiérosifs dans les sites de Béni Snous, Honaine et Zouanif à la suite des pluies exceptionnelles de cette année. La méthode repose essentiellement sur l'évaluation des pluies (hauteurs, intensité, fréquence) et l'analyse du comportement des aménagements traditionnels utilisés. Les terrasses qui sont largement utilisées dans la région et qui ont montré en temps ordinaires une bonne efficacité contre le ruissellement et l'érosion (Mazour, 2006) ont été fortement endommagées cette année. Il en est de même pour la plupart des autres techniques traditionnelles comme les structures en pierres agencées, les seuils en terres compactées, les divers cordons et les ouvrages hydrauliques (Jboub, Madjène, Séguia, Sed, etc.).

Il apparaît clairement que les aménagements traditionnels de conservation de l'eau et du sol ont leur limite mais ceci semble être bien connu des populations rurales qui prévoient de grands travaux de réfection des ouvrages et aménagements antiérosifs après chaque événement exceptionnel.

Mots clés : Algérie, Techniques antiérosives traditionnelles, Montagne, Pluies exceptionnelles.

Abstract

Hydric erosion is an old problem in the Mediterranean mountains but peoples developed many SWC traditional systems since centuries. The 2008-09 year, the rains were exceptionally important (1100mm in some seaside mountains, about 3 times the normal annual amount) and the rainfall intensity as well (80 mm/h during 30 min). This study is concerned by the resistance of traditional SWC managements observed in the mountains of Beni Snous, Honaine and Zouanif. The amount, intensity & frequency of rains were analysed in relation to the behaviour of the traditional SWC managements. Mediterranean terraces which resist well during the normal rains were seriously damaged during the exceptional rainstorms of this year. It was the same for others equipments like stone or compacted earth microdams, stone bunds and various hydrolic managements like jboub, Madjene= mares, séguia, canaux d'irrigation, sed, etc...We must conclude that the traditional managements have some limits of resistance but rural populations are organised to restore these managements after each exceptional rainstorm.

Keywords : NW.Algeria, traditional SWC systems ; exceptional rainstorms, SWC systems restoration

1. Problématique

Certaines communautés rurales en zones montagneuses du nord ouest algérien ont contribué d'une manière fort intéressante au développement et au perfectionnement de certaines techniques traditionnelles de gestion de l'eau et des terres qui ont servi de support à leur survie. Les ressources naturelles disponibles sont souvent insuffisantes par rapport à une population trop nombreuse et toute l'ingéniosité de ces populations a été mise à l'épreuve pour garantir une autosuffisance alimentaire. Dans cette démarche, les aménagements traditionnels de conservation de l'eau et de la fertilité du sol ont toujours joué un rôle essentiel (Mazour et al, 2006). Mais ces aménagements ont aussi connu de temps en temps des dégradations importantes et même des destructions à la suite d'évènements pluviométriques extrêmes. Cependant, les populations rurales ont toujours su réparer, reconstruire ou reproduire ces aménagements grâce à un savoir faire acquis depuis des siècles et dans le cadre d'une organisation sociale performante.

La pluviosité de l'année 2008 – 2009 a été exceptionnelle : le cumul des pluies oscille entre 200 et 300% du module pluviométrique annuel à certains endroits notamment les monts de Béni Snous et les montagnes côtières de Honaine et Zouanif où ont été enregistrés parfois plus de 1100 mm avec des intensités maximales très élevées qui ont atteint à Béni Snous 75 mm/heure durant 30 minutes.

Les aménagements traditionnels de conservation de l'eau et du sol ont-ils pu résister à ces évènements pluviométriques rares ? Comment ? Quels sont les préjudices matériels et financiers ?

Les paysages ruraux que nous observons aujourd'hui sont justement le fruit d'aménagements divers lentement élaborés par les agriculteurs et leur comportement vis-à-vis des évènements pluviométriques surtout ceux intenses et de fréquence assez rares qui marquent durablement le milieu naturel. Dans un milieu semi-aride où la maîtrise des eaux est essentielle à la production agricole, où le sol est fragile et constamment soumis à l'érosion, les aménagements traditionnels pourraient répondre à un double objectif : la conservation de l'eau et l'augmentation de la productivité des terres. Il est cependant nécessaire d'évaluer et de prendre en considération les effets destructeurs, les dégâts et les surcoûts engendrés par les pluies exceptionnelles. Ceci est déterminant quant il s'agit de choisir le type d'aménagement le plus efficace, le plus reproductible avec un rapport coût/efficacité des plus intéressants. Mais il est assez rare de rencontrer un même type d'aménagement : il est souvent associé à d'autres techniques complémentaires dans une répartition spatiale qui est loin d'être uniforme. Un des aspects intéressants des techniques traditionnelles est justement leur diversité et la complexité dans leur fonctionnement combiné.

2. Matériel et méthodes

Ce travail a pour objectif de tester le comportement du point de vue stabilité, fiabilité et efficacité antiérosive de quelques techniques et aménagements antiérosifs dans les sites de Béni Snous, Honaine et Zouanif à la suite des pluies exceptionnelles de l'année 2008-9. Un premier travail (Mazour et al, 2006) a été

réalisé en 2004 dans la même zone et dans des conditions pluviométriques normales et pour les mêmes objectifs à savoir l'évaluation de l'efficacité des aménagements traditionnels, leur comportement, leur stabilité et le rapport coût/efficacité (Figure 1).

L'approche méthodologique demeure simple et repose sur l'évaluation et la caractérisation des pluies (hauteurs, intensité, fréquence), les observations directes sur les sites avec des repérages et un suivi rigoureux des paramètres à analyser. Ensuite vient l'analyse du comportement des aménagements traditionnels utilisés face aux événements pluviométriques extrêmes enregistrés l'année 2008-2009.

Nous avons ensuite évalué l'intérêt de l'amélioration de certaines techniques par des technologies modernes et des matériaux nouveaux pour les rendre plus attractives économiquement (choix des cultures, fertilisation raisonnée, système d'irrigation performant et adapté, gabion, béton, etc.).

Un certain nombre de facteurs sont appréciés directement et analysés à la lumière de plus de 15 années d'observations, de mesures, d'expérimentation et d'évaluation afin de comprendre les raisons de la pérennité et de la reproductibilité de certaines techniques qui ont exigé des efforts considérables d'adaptation au cours des siècles (tableau 1, 2, 3).

Il y a lieu donc de présenter les techniques traditionnelles les plus intéressantes de la région montagneuse du nord ouest algérien, de mesurer leur efficacité et de préciser leurs liens avec les conditions climatiques et agro-écologiques de la zone).

Nous avons choisi un échantillon d'une vingtaine d'aménagements représentatifs des montagnes telliennes de la région de Tlemcen précisément aux environs des localités de Béni Snous, Zouanif et Honaine, là où a été effectuée dans une première étude, l'analyse du comportement et de l'efficacité de quelques aménagements traditionnels dans des conditions pluviométriques normales ou déficitaires.

Quelques aspects socio-économiques particuliers de ces zones ont été pris en considération notamment l'organisation du travail collectif et l'implication de la femme rurale dans l'entretien et la gestion des différents aménagements ruraux.

3. Le milieu naturel

Les conditions naturelles de l'Algérie (climat, relief, sol et couverture végétale) associées à une société rurale bien particulière qui a toujours su mettre en œuvre des formes de gestion communautaires ont contribué au développement et au perfectionnement de techniques de gestion et de conservation de l'eau et des terres qui ont servi de support à la survie d'une population souvent trop nombreuse par rapport aux ressources disponibles.

Les trois sites expérimentaux sont situés dans le nord ouest algérien dans la wilaya de Tlemcen. Les Béni Snous se trouvent à quelques 30 km au sud ouest de la ville de Tlemcen, dans une zone enclavée et où les conditions de vie sont dures : c'est en quelque sorte une oasis où les ressources naturelles sont gérées d'une manière rigoureuse. Le relief très escarpé est fortement disséqué avec de fortes pentes et un réseau de drainage assez dense ; le cours d'eau principal porte le même nom que la localité. Béni Snous coule dans des gorges profondes et contribue d'une manière importante à l'alimentation du barrage de Béni Bahdel situé à 8 km en aval.

Le climat est de type continental semi-aride avec de fortes amplitudes thermiques ; les pluies moyennes annuelles varient de 300 mm à 550 mm. Ces pluies sont caractérisées par une irrégularité spatio-temporelle et par un régime de courte durée et à forte intensité (l'intensité maximale peut atteindre 80 mm/heure durant 30 minutes). La lithologie est constituée de roches calcaires et dolomitiques assez altérées ce qui confère à ces zones une bonne résistance aux différents processus d'érosion.

Les formations végétales naturelles sont pauvres et très dégradées caractérisées par de faibles densités de recouvrement et de mauvaises conditions de régénération. L'agriculture est constituée essentiellement d'arboriculture fruitière rustique constituée principalement d'oliviers (qui ont fait la réputation de la région), de cultures maraichères sur terrasses traditionnelles bien connues et d'élevage de caprins et d'ovins.

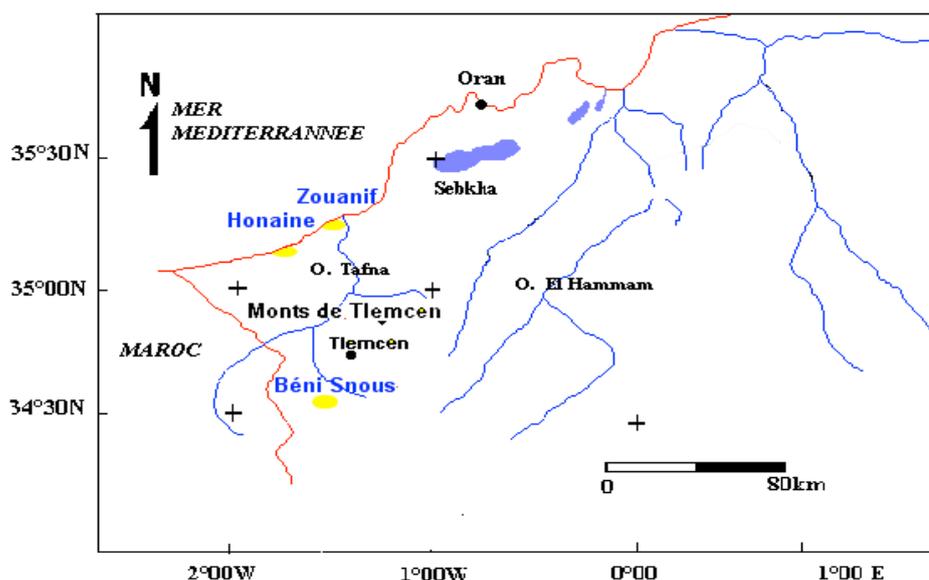
A quelques 80 km plus au nord, se trouvent les deux autres sites de Zouanif et Honaine sur des versants côtiers montagneux avec une autre physionomie du paysage qui paraît moins escarpé mais aussi moins travaillé.

Pour les deux sites le climat est de type méditerranéen semi aride où les pluies moyennes annuelles oscillent entre 300 et 450 mm et sont irrégulièrement réparties durant l'année : l'amplitude thermique est moins accentuée. L'influence maritime adoucit et humidifie l'atmosphère et permet beaucoup de cultures sans irrigation.

Les sols à Zouanif sont assez riches et évoluent sur des faciès volcaniques. A Honaine, les sols ont une texture complexe et ont parfois des influences volcaniques. Ils ont souvent un bon potentiel de production.

Les techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol ont toujours accompagné toutes les activités agricoles dans la région. Bon nombre de ces techniques furent cependant abandonnées avec le temps, suite à des événements historiques (invasions, colonisation, décolonisation, exodes,...) et des phénomènes de changement d'usage des terres qui sévissent dans les zones montagneuses du Nord de l'Algérie.

Figure 1. Carte de situation des monts du Tell occidental de l'Algérie



4. Résultats

Tableau 1. Comportement de quelques aménagements de conservation de l'eau et du sol en fonction de certains facteurs dans le nord ouest algérien **en conditions pluviométriques normales 1991-2005 (Mazour, 2006)**

Facteurs analysés Aménagements antiérosifs traditionnels**	Nombre bs z h *	Efficacité pour la conservation de l'eau du sol		Durabilité	Reproductibilité	Productivité des terres aménagées	Coût	Rapport Coût / efficacité
<u>Ouvrages et structures</u>								
Murets avec terrassettes	2 2 2	++	++	++	+++	+++	+	++
Cordons :								
en pierres	0 1 2	+	+	+	++	+	+++	++
végétal	1 2 1	+	++	++	+++	++	+++	++
mixte	0 1 1	+	++	++	++	++	+++	++
Dérivation des eaux :								
Séguia	2 2 0	+++	++	++	+	+++	+	++
Sed	1 0 2	+++	++	+	+	+++	+	++
Stockage des eaux :								
Madjen	1 0 1	+++	+	+	++	+	++	+
Jboub	0 0 0	+++	+	+	+	+	++	+
Dayat	1 0 0	+++	++	++	+	++	+++	++
<u>Techniques culturales</u>								
Cultures en billons	1 2 1	++	++	+	+++	+++	+++	+++
Travail à l'araire	0 1 1	++	++	+	++	++	++	++
Mulching :								
en pierres	0 1 1	++	++	+++	++	++	++	++
en paille	0 1 1	++	++	+	+++	++	++	++
Utilisation du fumier	1 1 1	++	++	++	+++	+++	++	++
Cuvettes d'infiltration et de ruissellement :								
circulaire	2 0 0	++	++	++	++	++	++	++
en demi-lune	3 1 1	++	++	++	++	++	++	++

Tableau 2. Comportement de quelques aménagements de conservation de l'eau et du sol en fonction de certains facteurs dans le nord ouest algérien **sous pluies extrêmes 2008-2009**

Facteurs analysés Aménagements antiérosifs traditionnels**	Nombre bs z h *	Efficacité pour la conservation de l'eau du sol		Dégâts partiels	Dégâts importants	Destruction totale	Coût des dommages X1000 DA
<u>Ouvrages et structures</u>							
Murets avec terrassettes	2 2 2	++	++		X		5/m ²
Cordons :							
en pierres	0 1 2	+	+	X			1/ml
végétal	1 2 1	+	++			X	1/ml
mixte	0 1 1	+	++		X		1/ml
Dérivation des eaux :							
Séguia	2 2 0	+++	++		X		3/ml
Sed	1 0 2	+++	++			X	20/m ³
Stockage des eaux :							
Madjen	1 0 1	+++	+			X	10/m ³
Jboub	1 1 0	+++	+			X	10/m ³
<u>Techniques culturales</u>							
Cultures en billons	1 2 2	++	++		X		1/ml
Mulching :							
en pierres	0 1 1	++	++	X			1/m ²
en paille	0 1 1	++	++	X			1/m ²
Cuvettes d'infiltration et de ruissellement :							
circulaire	3 1 1	++	++	X			5/m ³
en demi-lune	3 1 1	++	++	X			5/m ³

* **bs** = Beni Snous : 15 aménagements ; **z** = Zoualef : 15 ; **h** = Honaine : 15

****Sed** : ouvrage de stockage d'eau à l'amont d'une diguette réalisée généralement en terre transversalement à un cours d'eau temporaire avec un déversoir latéral. D'une capacité de quelques milliers de m³, il est généralement réparé ou entièrement refait après chaque crue importante par la Touiza (chantier de volontaires).

Séguia : canal de dérivation et de collecte des eaux réalisé en terre ou en pierres agencées

Madjen : ouvrages de stockage d'eau utilisant des dépressions naturelles ou creusées. L'eau sert à certaines activités domestiques telles que le lavage, l'arrosage des jardins et potagers et l'abreuvement des animaux d'élevage.

Jboub : ouvrages de stockage d'eau de petite capacité réalisés au niveau de certaines ravines. Ils servent surtout à l'abreuvement du cheptel.

Daya : dépression naturelle assez importante où s'accumulent les eaux de ruissellement couvrant parfois de vastes étendues de plusieurs hectares.

Tableau 3. Ruissellement (Kram & Krmax %) et érosion (t/ha/an) sur parcelles expérimentales à Tlemcen (1991-2005).

	Parcelle nue Standard				Système traditionnel			Système amélioré		
	Pluies (mm)	Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t ha ⁻¹ an ⁻¹)	Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t ha ⁻¹ an ⁻¹)	Kram (%)	Krmax (%)	Erosion (t ha ⁻¹ an ⁻¹)
Hériz										
Système agropastoral (blé- jachère pâturée); sol vertique gris sur marnes.										
Moyenne	330	6,2	20,3	2,0	5,6	16,7	1,36	4,7	14,6	0,95
Ecart type	97	2,23	10,8	1,8	1,8	7,30	1,2	2,3	5,9	0,88
Madjoudj										
Système sylvopastoral (matorral dégradé pâturé ou en défens); sol brun calcaire érodé.										
Moyenne	387	3,9	22,4	3,55	2,4	10,9	0,52	2,2	11,2	0,4
Ecart type	77	1,3	11,7	1,42	1,6	4,6	0,26	1,4	4,6	0,27
Gourari										
Système pastoral (matorral très dégradé à <i>Diss</i> et <i>Chamaerops humilis</i>); sol rouge fersiallitique.										
Moyenne	411	12,7	27,5	3,4	11,0	20,9	1,9	11,2	18,8	1,4
Ecart type	76	2,13	5,32	1,37	3,21	7,45	0,55	3,36	6,89	0,53

Kram : coefficient de ruissellement annuel moyen

Krmax : coefficient de ruissellement maximum

Nous présentons ci-dessus les tableaux de résultats des comportements des différents aménagements traditionnels pour la période 1991-2005, période caractérisée globalement par un déficit hydrique récurrent comme le montre d'ailleurs le tableau 4 ainsi que comportement de ces aménagements durant l'année pluviométrique en cours 2008-2009 qui a été largement excédentaire et où la pluie enregistrée a dépassé trois fois la moyenne annuelle (tableau 4). Il y a aussi le tableau 3 qui comporte les valeurs des ruissellements et d'érosion mesurés dans la région, où les conditions climatiques et agro écologiques sont proches, et ce en fonction des systèmes d'utilisation des terres pratiqués par les populations rurales.

Tableau 4. Ecart des pluies annuelles par rapport aux moyennes annuelles déterminées sur trois périodes de mesures et les pluies maximales journalières.

Année	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2009
Pluie max. Jour mm/24h	31	45	26	35	42	34	25	36	20	27	28	31	34	118
Pluie moyenne annuelle (mm)	371	243	268	256	541	260	349	260	253	413	422	326	289	1118
Ecart/moyenne (%)														
1913-1971 <i>Moy=496 mm</i>	-25	-51	-46	-48	+9	-48	-30	-48	-49	-18	-16	-25	-38	+120
Ecart/moyenne (%)														
1971-2005 <i>Moy=347 mm</i>	+7	-30	-46	-23	-26	-48	+56	-25	-27	+11	+14	-8	-21	+205
Ecart/moyenne (%)														
1990-2005 <i>Moy=331 mm</i>	+12	-27	-19	-23	+63	-21	-5	-21	-24	+22	+25	-4	-16	+230

5. Discussion

5.1. Caractérisation des pluies exceptionnelles de l'année 2008-2009

Le climat de la région de Tlemcen est du type méditerranéen semi aride où le régime pluviométrique est caractérisé par des pluies le plus souvent sous forme d'averses de courte durée et d'intensité relativement élevée. Ces pluies sont très inégalement réparties dans le temps et l'espace et leur impact sur les bassins versants dépend de plusieurs facteurs, d'une part de l'état d'humidité des sols, la nature du terrain, le relief, la végétation et des usages des terres et d'autre part des caractéristiques intrinsèques de la pluie comme la hauteur et l'intensité de celle-ci.

Une pluie peut être caractérisée par plusieurs paramètres qui peuvent avoir, au sein de la même pluie, des temps de retour très différents. Citons notamment :

- la hauteur totale de pluie,
- la durée,
- l'intensité moyenne,
- les intensités maximales sur des intervalles de temps quelconques,
- la distribution d'intensité instantanée $i(t)$.

L'analyse des pluies a permis de définir deux lois générales de pluviosité qui peuvent s'exprimer de la manière suivante :

- Pour une même fréquence d'apparition - donc un même temps de retour - l'intensité d'une pluie est d'autant plus forte que sa durée est courte.
- Ou encore, en corollaire, à durée de pluie égale, une précipitation sera d'autant plus intense que sa fréquence d'apparition sera petite (donc que son temps de retour sera grand).

Ces lois permettant d'établir les relations entre les intensités, la durée et la fréquence d'apparition des pluies peuvent être représentées selon des courbes caractéristiques : on parle généralement de courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) (Figure 2.). La notion de fréquence est en fait exprimée par la notion de temps de retour.

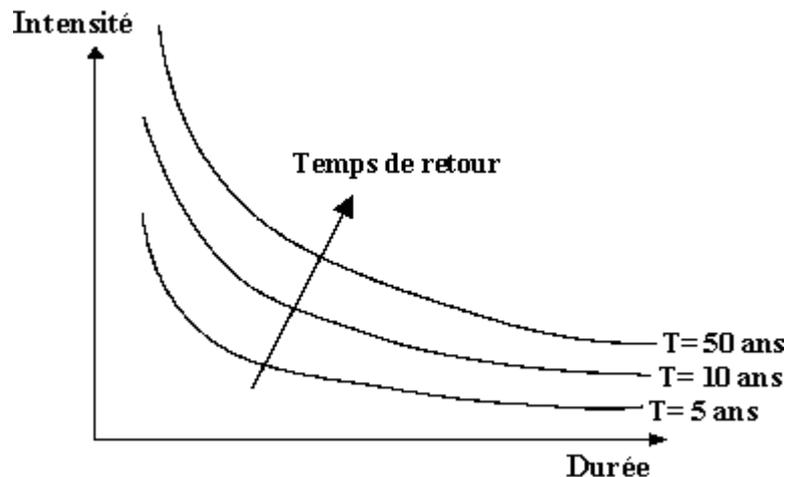


Figure 2. - Représentation schématique des courbes IDF

Les pluies enregistrées à la station de Tlemcen depuis plus de 20 ans oscillent entre 240 et 540 mm, très inégalement réparties durant l'année, de courte durée et avec des intensités élevées. Souvent ces pluies sont à l'origine de ruissellements assez importants mais de faible érosion. Ce sont les averses intenses du début d'automne qui génèrent le plus de ruissellement, les sols étant déstructurés en surface, battant et compact quasiment imperméable. Ces événements sont assez bien régularisés et absorbés par les aménagements de conservation de l'eau et du sol traditionnellement réalisés en montagne dans le nord ouest de l'Algérie.

Tous les 15 à 20 ans (fréquence de 0,07 à 0,05) en général, des pluies exceptionnelles ont lieu à l'instar de celles qu'on a connu cette année et qui totalisent près de 1118 mm, soit plus de trois fois la pluie annuelle moyenne avec une intensité maximale de presque 80 mm/h. Les pluies journalières maximales ont atteint près de 120 mm en 24 heures.

Les pluies sont tombées pratiquement sans discontinuité depuis octobre 2008 jusqu'à avril 2009 et l'impact sur les ruissellements et les risques de crue a été important. Les sols étant gorgés d'eau n'infiltrant que très peu d'eau, les ruissellements augmentent considérablement les crues qui dévalent des pentes et emportent et endommagent tous les aménagements antiérosifs et de protection contre les crues.

5.2. Comportement des ouvrages et structures traditionnels de conservation de l'eau et du sol

Le village de Béni Snous dans les monts de Tlemcen, accroché à plus de 1000 mètres d'altitude, aux flancs de montagne est caractérisé par une sociologie particulière étant donné son enclavement depuis des siècles et des conditions du milieu naturel très difficiles. Ses populations sont passés maîtres en aménagements et techniques de conservation de l'eau et sol comme les fameuses terrasses omniprésentes, les cuvettes aux pieds des oliviers en pierres soigneusement

agencées. Béni Snous est surtout connu pour ses olivettes, ses vergers célèbres et ses terrasses cultivées. Ces terrasses verdoyantes atténuent les fortes pentes qui dépassent les 60%. Les sols sont peu profonds sur un substrat calcaire et entretiennent une végétation naturelle assez dense sous forme de maquis de chêne et de résineux. Les pluies sont relativement abondantes et agressives en hiver et au printemps de sorte que les risques d'érosion et de ravinement sont très élevés dans cette région. Les agriculteurs ont su développer depuis longtemps des méthodes et des techniques parfois simples mais efficaces leur permettant de contrôler les eaux de ruissellement, les stocker et les utiliser pour l'irrigation des terrasses aménagées, des oliviers et autres arbres fruitiers (grenadier, pommier, pêcher, prunier, poirier, etc.). Au pied des arbres sont souvent confectionnées des cuvettes d'infiltration circulaires ou en demi lune avec l'utilisation du "mulching" en paille mais parfois aussi en pierres. Nous avons analysé 15 aménagements dans cette zone par rapport à six facteurs (Tableau 1.) : 2 terrassettes, 1 cordons en arbustes et fourragers 2 séguia, 1 sed, 1 Madjen, 1 daya, 1 cultures en billon, 1 utilisation de fumier, 2 cuvettes d'infiltration circulaires et 3 en demi lune. Il en ressort tout d'abord le bon rapport coût/efficacité pour toutes structures sauf les ouvrages de stockages d'eau Madjen et Jboub. Mais ce sont les terrasses et terrassettes qui caractérisent la région de Béni Snous depuis très longtemps comme en témoignent l'indice de reproductibilité et aussi l'indice de productivité des terres aménagées. Ces structures à l'amont des murets ou talus sculptent admirablement ce paysage montagnard. Du fait de leur densité élevée et leur bonne répartition spatiale, ils permettent une excellente conservation des eaux.

Fonctionnant en association avec les séguia, seds, madjen, jboub et cordons en végétaux, leur efficacité est multipliée : les écoulements superficiels collectés, les ruissellements atténués par les cordons et le travail du sol et canalisés par les séguia, l'infiltration améliorée au niveau des terrasses. Les pertes de terre sont diminuées en conséquence (Tableau 3) sur tous les versants aménagés. Les techniques traditionnelles ont non seulement des liens étroits avec les conditions agro écologiques de la zone mais aussi avec ses caractéristiques socio-économiques ; c'est ainsi que plus au nord, sur les versants côtiers de la région, à Zouanif à l'est et à Honaine à l'ouest, les terrasses, mêmes si elles sont toujours présentes, leurs densités sont plus faibles et leurs répartitions assez irrégulières. Ceci donne non seulement une autre physionomie au paysage qui paraît moins travaillé mais aussi une plus faible complémentarité avec les autres techniques de conservation de l'eau et du sol. Les cordons en pierres en végétaux et mixtes sont assez nombreux et semblent jouer leur rôle d'une manière assez isolée. Il y a peu d'ouvrages de contrôle des écoulements superficiels et du ruissellement, ceci peut s'expliquer en partie par le régime pluviométrique caractérisé par des averses peu agressives, une influence marine qui atténue le déficit hydrique, des ressources générées par la pêche qui font que la pression sur les terres agricoles n'est pas importante et le système agricole moins contraignant.

5.3. Comportement des ouvrages et structures traditionnels de conservation de l'eau et du sol suite aux pluies exceptionnelles de 2008-2009

Ces aménagements traditionnels bien efficaces en année normale, sont toutefois très vulnérables aux événements pluviométriques exceptionnels. Les analyses de 45 aménagements au niveau des trois bassins expérimentaux de Béni

Snous, de Zouanif et Honaine ont montré récemment suite aux pluies importantes (1118 mm) de l'année 2008-2009 que tous les aménagements ont été gravement endommagés si ce n'est totalement détruits (tableau 2). Les ouvrages de contrôle des eaux ont été complètement détruits, même les terrasses ont subi des dégâts très importants. Seuls les aménagements des cuvettes aux pieds des oliviers ont plus ou moins bien résisté.

Les populations rurales au niveau de ces différents sites connaissent bien la situation et attendent en quelque sorte ces événements catastrophiques de pieds fermes ; ils ont développé des actions d'entraides pour réparer ou reconstruire ce qui a été détruit. Ces actions sont collectives appelées localement « touiza » et permettent à tour de rôle d'effectuer les travaux nécessaires. Des quêtes sont organisées si nécessaire pour aider au financement des différentes actions.

D'expérience, les paysans connaissent les périodes de retour de ces événements extrêmes, donc une certaine appréciation des fréquences d'apparition de pluies dévastatrices. Ce sont des éléments bien compris qui ont permis à ces populations de sélectionner les aménagements les plus utiles et en même temps les plus efficaces et les plus durables. Ces événements sont parfois exploités pour mieux choisir les lieux d'implantation des ouvrages et les techniques les mieux adaptées.

Certains aménagements sont très localisés, d'autres très éparpillés dans l'espace (terrasse, terrassettes, murette, talus, **cordons pierreux**, **haies vives**, cuvettes, **madjens**...). Ces aménagements sont réalisés souvent sur les bas de versants et proches des lits des oueds. L'évaluation de l'état de ces aménagements (tableau 2) suite aux événements extrêmes montre que certains sont en voie de disparition et d'autres en extension et ceci n'est pas dû à leur faible efficacité mais plutôt aux changements dans certains rapports socio-économiques. L'efficacité des techniques culturales est strictement liée aux conditions économiques des sociétés (Roose, 2004).

Il semble par ailleurs que certains exploitants s'intéressent à certains aménagements plus en tant que pratique d'amélioration de production, de protection contre les animaux sauvages et de diminution des travaux pénibles qu'en tant que pratique de conservation du sol. Certaines techniques bien qu'elles soient destinées à l'origine à délimiter ou à protéger les parcelles (talus, clôtures en haies vives ou en pierres suivant les courbes de niveau), elles ont aussi un rôle très positif dans la conservation de l'eau et du sol et la lutte contre les crues et les inondations issues de pluies très intenses. Ces structures permettent de piéger des quantités importantes d'eau et de sédiments.

Les **dayas** qui sont des dépressions importantes peuvent non seulement jouer un rôle d'atténuation des crues mais aussi constituer des réserves d'eau non négligeables qu'il faudra intégrer dans les systèmes de gestion des eaux en milieu rural de même qu'elle permet de pratiquer une agriculture pluviale (céréaliculture et arboriculture) et durable dans un écosystème très sensible.

5.4. Techniques culturales de CES et pluies intenses 2008-2009

Le système de culture peut être défini comme un ensemble constitué par la succession des cultures sur une parcelle et les techniques culturales qui leur sont appliquées. C'est un facteur important où l'homme peut intervenir pour protéger et améliorer la productivité des ressources et en même temps lutter contre les facteurs de dégradation de l'eau et du sol.

La répartition spatiale et temporelle des terres cultivées en zone montagneuse, nous permet souvent d'observer des systèmes de gestion traditionnels caractérisés par :

- une diversification de cultures : céréaliculture, arboriculture fruitière, culture fourragère, et culture maraîchère ;
- un travail du sol traditionnel (araire, manuel) ;
- une utilisation de fumier et une matérialisation biologique des exploitations (haies vives) ;

D'autre part, ce milieu montagnard aux fortes pentes reste très vulnérable aux ruissellements dévastateurs issus de pluies diluviennes qui malheureusement restent une caractéristique constante du climat méditerranéen. La fréquence de ces événements est variable et peut être parfois assez rare comme c'est le cas dans les montagnes du nord ouest algérien.

Ce sont ces événements qui façonnent le paysage qu'on connaît aujourd'hui (Roose, 1994). Heureusement les hommes de ces régions, étant obligés pour survivre, ont appris à lutter contre ces catastrophes et ont développé des techniques ingénieuses et parfaitement reproductibles leur permettant de faire face à ces événements cycliques.

L'analyse des pratiques culturelles dans les différentes zones étudiées a montré que **face aux pluies diluviennes, les dégâts sont toujours très importants** et il faut s'organiser pour effacer les impacts sur l'ensemble des terres aménagées (tableaux 1,2,3).

Ce sont les techniques simples, peu coûteuses à la portée des exploitants agricoles qui semblent convenir le mieux à ces situations. Ceci est confirmé par les résultats d'analyse (rapport coût/efficacité et indice de productivité agricole intéressant et bonne reproductibilité). Certaines pratiques culturelles largement répandues en Afrique du Nord sont de nature à minimiser les ruissellements importants et favoriser l'infiltration.

Le travail du sol à l'araire sur les terres en pente présente moins de risque que le travail mécanisé et même que celui des sols laissés en jachère pâturée. La jachère, technique traditionnelle, si elle est bien gérée a une influence très marquée sur la production et la réduction de l'érosion (Roose et al, 1996).

La pratique des cultures en billons, très répandue dans la zone, permet une bonne gestion des eaux de ruissellement et une réduction de l'érosion. Par exemple dans les monts des Béni Snous, sur un système traditionnel de culture en billons, l'érosion et le ruissellement ont été réduits respectivement de 10 et 5 fois par rapport au sol non billonné, **mais devant les pluies extrêmes (intensité > 80 mm/hr), toutes les techniques traditionnelles ne tiennent plus (tableau 2)**

L'utilisation du fumier, même si le coût est relativement élevé, améliore significativement la CES, la productivité et relativement la résistance aux crues importantes.

Enfin, il y a lieu de noter que l'utilisation des techniques citées ci-dessus n'ont **d'impact positif que si elles fonctionnent ensemble** et d'une manière combinée.

6. Conclusion

La région du nord ouest algérien et particulièrement les zones montagneuses sont parsemées d'une multitude d'aménagements traditionnels de CES. Ils n'ont commencé à être étudiés, inventoriés et évalués que depuis 2006 (Mazour, 2006).

En année normale ou déficitaire, leur impact est généralement positif sur la CES et sur l'amélioration de la productivité des terres aménagées. Ce sont les techniques

simples, peu coûteuses et à la portée de l'exploitant agricole qui ont montré le plus d'efficacité. Néanmoins ces aménagements restent très éparpillés et quelquefois localisés. Certains sont abandonnés, d'autres au contraire sont largement utilisés, vu le profit qu'ils procurent,. Il s'est avéré que l'association des techniques de CES traditionnelles (mécanique, biologique, techniques culturales) combinée avec des compléments de fertilisation a un impact très positif sur la production et la réduction du risque de dégradation.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé le comportement de ces aménagements face aux pluies intenses de 2008-2009 où la hauteur cumulée des pluies atteint 1118 mm et l'intensité avoisine les 80 mm/h.

Il apparaît clairement que l'ensemble des aménagements sont endommagés et les ouvrages de contrôle des eaux sont complètement détruits. Il s'avère clairement que les aménagements traditionnels sont très vulnérables aux pluies rares avec une période de retour supérieure à 20 ans.

Mais ce sont des aménagements facilement reproductibles dans le cadre d'une organisation sociale du travail collectif (touiza) qui garantit la pérennité de ces aménagements en milieu rural étudié.

Il apparaît donc intéressant aujourd'hui de privilégier, dans le cadre des nouvelles stratégies de conservation de l'eau et du sol, toutes ces techniques ancestrales qui ont prouvé leur efficacité à travers le temps, mais surtout celles que les agriculteurs en montagne comme sur les collines ont adoptées, adaptées et maîtrisées.

Il y a lieu enfin, de signaler ici le rôle important de la femme rurale au niveau de ces montagnes à qui reviennent le plus souvent l'entretien et la pérennisation de la plupart des aménagements traditionnels.

7. Bibliographie :

Arabi M., et Roose E., 2002. Influence des systèmes de production du sol sur l'érosion, le stock et les pertes en carbone en moyenne montagne méditerranéenne du NO de l'Algérie Résumés des actes du *Coll. Intern. Gestion de la Biomasse, Erosion et Séquestration du Carbone*, Montpellier. p.20.

Azontonde A., 1996. Dégradation et restauration des terres de barre au Benin *Cah. Orstom ser. Pédol.* 28, 2 : 17-226.

Coelho C., Laouina A., Ferreira A., Regaya K. Chaker M., Nafaa R., Naciri R, Boulet A., Carvalho T., 2002. The dynamics of land use changes in Moroccan and Tunisian sub-humid and semi-arid regions and the impact on erosion rates and overland flow generation. Résumés des actes du *Coll. Intern gestion de la Biomasse, Erosion et Séquestration du Carbone*, Montpellier.p.85.

Gomer D., 1992. *Ecoulement et érosion dans des bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen.* GTZ – ANRH , 207 p.

Heusch B., 1970. L'érosion du Pré Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique. *Ann. Recherche forestière du Maroc*, 12, Rabat, : 9-176.

Kouri L., Vogt H., 1993. Gully processes and types in Oued Mina basin, Algeria. Workshop "Soil Erosion in Semi-Arid Mediterranean Areas October 28-30TH 1993, Taormina. European Society For Soil Conservation (ESSC). Centro Studi di Economica Applicata all Ingegneria (CSEI) Catania, Italy. Book of Abstracts p. 14.

Laouina A, Nafaa R, Coelho C, Chaker M, Carvalho T, Boulet AN, Ferreira A., 2000. Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kebir, Maroc. *Bull Réseau Erosion* 20 : 256 -274.

- Mazour M., Benmansour M. 2002.** Effet de l'exposition des versants sur la production de biomasse et l'efficacité antiérosive dans le Nord Ouest Algérien. Bull. Réseau Erosion n°22, IRD Montpellier, 22 : 320-368
- Mazour M, Roose E., 2002.** Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans les bassins versants du Nord-ouest de l'Algérie. *Bull Réseau Erosion* 21 : 320 - 330.
- Mazour M., 2004.** Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser – Tlemcen. Thèse de Doctorat d'état, Université de Tlemcen ; 131p.
- Mazour M., Morsli B., 2006.** Analyse de l'efficacité de quelques techniques traditionnelles dans le nord ouest algérien. Actualité scientifique : efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides ;Bull. Réseau Erosion 23 : 193-198.
- Mouffadal K. 2002.** Les premiers résultats des parcelles de mesure des pertes en terre dans le bassin versant de Oued Nakhla dans le Rif occidental.
Bull Réseau Erosion 21 : 244 -254
- Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Roose E., 2004.** Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse* 15, 1 : 96-104.
- Morsli B., Mazour M., Arabi M., Roose E., 2005.** Influences of land uses, soils and cultural practices on carbon eroded and carbon stocks in soils of Mediterranean mountains of northern Algeria. In "Soil erosion & carbon dynamics", Roose, Lal, Feller, Barthès, Stewart, eds, *Advances in Soil Sciences*, CRC publisher, Boca Raton, pp.103-124.
- Remini B., 2000.** L'envasement des barrages. *Bull Réseau Erosion* 20 : 165 -171.
- Roose E., 1994.** Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive- Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Sécheresse*, 15, 1 : 9-18.
- Roose E. Sabir M., 2002.** Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé.
Bull Réseau Erosion 21 : 33 - 44.
- Roose .E., Arabi M., Brahmia K., Chebani R., Mazour M., Morsli B., 1997.** Recherche sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne méditerranéenne algérienne *Cah. ORSTOM Pédol*, 28, 2 : 289-307.
- Tribak. A. 1988.** L'érosion du Prérif oriental. Contribution à l'étude de la dynamique actuelle dans quelques bassins pré-rifains au nord de Taza (Maroc).
Thèse Doc. Université Joseph Fourier Grenoble, 258 p.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978.** Predicting rainfall erosion losses. A Guide to soil conservation planning, Washington. USDA-ARS, Handbook 537 ; 58 p.

INFLUENCE DES ARBRES SUR LES EAUX SOUTERRAINES (BURKINA FASO)

YAMEOGO Siaka

Courriel: yamzegre@yahoo.fr

Résumé

Les écosystèmes en Afrique de l'ouest et en particulier les pays au sud du Sahara demeurent fragiles et des indications objectives montrent que la dégradation de l'environnement se poursuit à l'échelle régionale (CILSS, 2006). Dans cette situation où se juxtaposent une crainte liée à un changement climatique global et une tendance persistante au reboisement des terres agricoles marginales, la question du rôle hydrologique des arbres revient de façon récurrente sur le devant de la scène (Andréassian, 2002). Pour mieux comprendre la complexité de ce mécanisme des eaux souterraines, notre objectif vise à quantifier les eaux de ruissellement et d'infiltration sous des arbres munis de lysimètres dans un bassin versant au sud du Burkina Faso dans une savane parc à karité. Des travaux antérieurs de certains chercheurs tels que Roose (1967), Poulsen (1981), Hugues et Philippe (1990), ont été d'un apport scientifique important dans la compréhension du sujet. Bien que le niveau de compréhension scientifique des interactions entre les arbres et l'eau soit sensiblement amélioré, le rôle des arbres dans la gestion durable des ressources en eau reste variable en fonction du bilan hydrique régional.

Mots clés : Burkina Faso, arbres, eaux souterraines, infiltration, environnement.

Abstract

Ecosystems in West Africa, in particular to south Sahara countries remain unstable and objectives instructions show that the damage of environment is going on regional scale (CILSS, 2006). In this situation where a fear link to a climatic change and persistent tendency to afforestation of marginal agricultural land, the question of hydrological role of trees is becoming recurrent on the leading scene (Andreassian, 2002). To better understand the complexity of the underground water mechanism, our objective aim at quantifying streaming of water and infiltration under trees provide by to lysimeters in catchment basin in the south of Burkina Faso into savanna shea tree park. The previous works of some searchers like Roose (1967), Poulsen (1981), Hugues & Philippe (1990) have been a scientific contribution in the understanding of the subject. Despite the level of scientific understanding of the interactions between trees and water has been sensitively improved, the role of trees in the lasting management in water resources remains variable in relation to Regional waterbalance.

Key words: Burkina Faso, trees, underground waters, infiltration, environment.

INTRODUCTION

Le Burkina Faso, à l'instar des pays de la boucle du Niger, est confronté à des conditions climatiques austères (irrégularités des pluies, températures élevées, etc.). Le pays vit des crises hydriques considérables au cours de certaines périodes de l'année notamment en saison sèche (Loupe, 1980). Les ressources aquatiques se limitent aux retenues d'eau de surface et souterraine. L'approvisionnement en eau potable des populations est assuré, pour l'essentiel, à partir des eaux souterraines, qui constituent les sources d'eau pérennes (Christian et Thierry, 2000). Toutefois, alors que les conditions climatiques se sont dégradées avec une tendance à l'aridification, l'augmentation sans cesse croissante de la demande s'est traduite par une baisse continue du niveau des nappes d'eaux souterraines. La pression sur les ressources naturelles et le besoin d'utilisation de celles-ci augmente d'année en année. En effet, avec l'accroissement de la population, les ressources naturelles en particulier l'eau est l'objet de multiples convoitises. Pour préserver cette ressource, il s'avère nécessaire de comprendre son mécanisme d'accumulation afin d'être capable d'établir son bilan hydrique. Qui dit bilan, dit comparaison entre les apports (entrées) et les dépenses (sorties). Le devenir d'une pluie constitue une phase transitoire entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour une nappe d'eau souterraine les entrées sont fournies par l'infiltration des eaux de pluie et de surface tandis que les pertes correspondent d'une part aux pertes naturelles d'eau (écoulement vers le réseau de surface, drainage par les aquifères sous-jacents et évapotranspiration) et d'autres part aux débits soutirés par l'exploitation (Thirrot, 1979).

De nos jours, les ressources forestières et hydriques, de par leur multiple fonctionnalité dans la vie quotidienne, sont sujettes aux pressions naturelles et humaines. La relation entre le couvert végétal et l'eau souterraine est complexe. Le couvert végétal a des fonctions de protection, de régulation et de production au niveau de l'écosystème primaire. Ces fonctions peuvent revêtir une valeur utilitaire pour l'homme et faire alors partie de l'écosystème culturel. Celles-ci se traduisent par des influences au niveau de l'environnement, dont les plus importantes sont les suivantes :

- la protection des sols par interception et réflexion des rayonnements, des précipitations, et des vents, le maintien des concentrations de gaz carbonique et d'humidité par suite de la réduction de la vitesse du vent;

- l'absorption et transformation de l'énergie lumineuse et chimique ; le processus de régénération et d'autorégulation concernant la production du bois, de l'écorce, des fruits et des feuilles et l'absorption, mise en réserve et émission d'eau (ORSTOM-UNESCO, 1983).

Cette dernière fonction s'avère indispensable car les eaux souterraines accessibles à faible profondeur, permettent de couvrir une grande partie des besoins en eau potable, d'alimenter des industries et de contribuer à l'existence de milieux naturels typiques. Les arbres de la forêt jouent alors un rôle essentiel dans les processus de ruissellement, d'infiltration et d'évapotranspiration.

En conséquence, l'objectif général de notre travail de recherche vise à montrer l'influence des arbres (en tant que couverture végétale) sur les eaux souterraines.

METHODOLOGIE

La recherche documentaire nous a amené à faire un constat selon lequel deux grandes tendances se sont distinguées depuis le 19^{ème} siècle sur la problématique eau et forêt. Cette séparation en deux camps est un peu troublante mais elle a l'avantage de clarifier le débat qui a eu lieu tout au long du 19^{ème} siècle, et qui a opposé les partisans d'une forêt qui régulerait les débits, augmenterait les pluies, interdirait les crues et alimenterait les sources, à des ingénieurs qui ont pensé le contraire (Andreassian, 2002). Ces deux tendances nous ont permis d'émettre les hypothèses suivantes : les arbres contribuent à l'alimentation des eaux souterraines ou à l'évapotranspiration réelle. Les hypothèses secondaires qui en découlent sont :

- la capacité d'infiltration est plus élevée sous les arbres;
- l'augmentation ou la diminution du niveau des eaux souterraines est liée à la densité des arbres et à la profondeur de leur enracinement.

A travers ces hypothèses, nous voudrions mettre en relief l'objectif général de cette étude qui s'articule autour du point suivant : la contribution des arbres dans la recharge des eaux souterraines. Plus spécifiquement, il s'agira d'essayer de répondre aux questions suivantes :

- quel est le devenir de l'eau de pluie dans un espace boisé?
- quel est l'impact de la densité des arbres sur le niveau des eaux souterraines ?

Afin de comprendre ce mécanisme hydrologique, les résultats suivants qui sont l'œuvre de quelques chercheurs, élucident ces hypothèses.

RESULTATS ET DISCUSSION

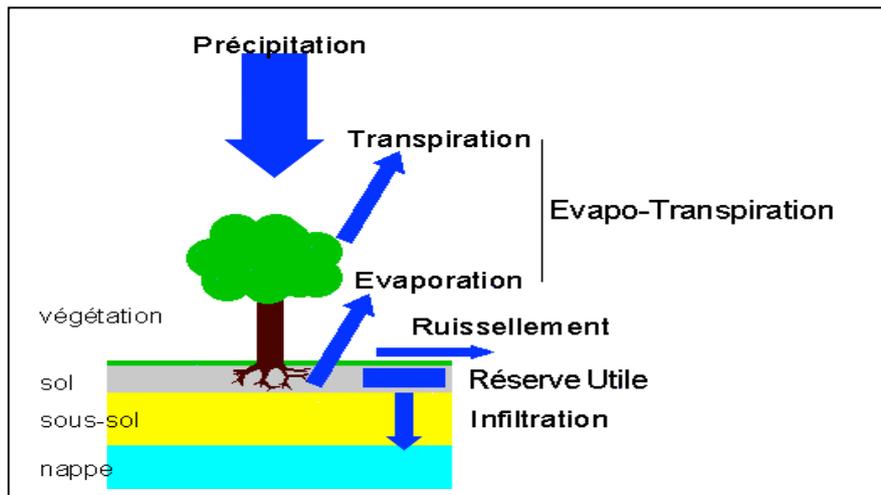
Des travaux antérieurs de certains chercheurs ont été d'un apport scientifique important dans la compréhension de notre sujet. Comme exemple, l'étude menée par Roose (1981) a révélé qu'un sol à couvert forestier permet une infiltration quasi-totale des pluies annuelles (2% seulement de ruissellement). A titre indicatif, Hansson (2006) a montré la capacité d'infiltration de l'eau sous et entre les arbres dans deux villages (Dossi et Bondokuy) à l'ouest du Burkina Faso à l'aide d'un infiltromètre à membrane. Dans le village de Dossi, les mesures ont été faites avant labour dans deux parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et à *Faidherbia albida*. Les résultats ont révélé que la capacité d'infiltration était plus élevée en dessous des arbres (104 mm/h) qu'entre les arbres (69 mm/h) et encore plus élevée dans le parc à *Vitellaria paradoxa* (117 mm/h) par rapport au parc de *Faidherbia albida* (58 mm/h). Par contre, Selon Fournier et Sasson (1983), les taux d'interception de forêts tropicales et subtropicales actuellement connus de par le monde sont également fort variables : 3% au Nigeria, 5% au Costa Rica, 8% en Malaisie, 12% en Côte d'Ivoire en forêt tropicale humide, 12 à 26% à Porto Rico, 18 à 20% au Zaïre en forêt claire, 31% à l'île Maurice, 35% en Ouganda, 38% en Inde en plantation de *Shorea robusta* vieille de 37 ans.

Sur de très petits bassins (1,5 à 2 ha) les chercheurs du Centre Forestier Tropical (Bailly et al. 1974) ont observé à Madagascar que la forêt secondaire ne laisse passer qu'un ruissellement de surface minimale (3% de la pluviosité annuelle sur 9 ans) considérablement plus faible que dans le cas des terrains défrichés. Dupriez et De Leenheer (1993) ont aussi comparé deux bassins versants, l'un nu et l'autre arboré. Dans le premier cas, pour ces auteurs, lorsqu'il pleut, le ruissellement est fort, l'érosion intense et l'infiltration faible. La nappe phréatique est alors mal alimentée. Dans le deuxième bassin versant où le couvert végétal est présent, le ruissellement est faible ou nul et l'infiltration forte. La nappe phréatique est abondamment alimentée par l'eau d'infiltration. Schoch (1966) cité par Dupriez et De Leenheer (1993), a utilisé l'évaporation pour montrer l'effet positif des arbres dans la recharge des eaux souterraines. Ce chercheur a mis en exergue l'évaporation dans deux grands champs arachidiers, l'un arboré et l'autre pas. Dans le champ d'arachides sans arbres, l'évaporation annuelle mesurée est maximale et atteint 2230 mm. Par contre, dans le champ d'arachides arboré, les arbres protégeant les réserves d'eau du champ, l'évaporation annuelle n'est plus que de 1820 mm, soit un gain de 410 mm.

Le magazine "Métiers de l'eau du sahel"(1986) aborde le problème sous un autre angle. Les arbres absorbent jusqu'à la moitié des précipitations annuelles au sein même de la nappe, provoquant un appauvrissement hydrologique. Ces auteurs affirment que les racines des arbres s'enfoncent beaucoup plus profondément dans le sol que celles des herbes, et plongent tout droit dans la nappe phréatique. Ces plantes pérennes puisent un peu d'eau durant la saison sèche, sans quoi leurs bourgeons se dessèchent et elles ne peuvent pas reverdir lors de l'hivernage. Durant cette période, l'alimentation en eau n'est possible qu'à partir des réserves d'eau de la nappe souterraine qui doivent être accessibles aux racines dans ce qu'on appelle la frange capillaire.

Il est évident que les zones forestières peuvent avoir une influence notable sur le système hydrologique d'une région, et donc sur la production agricole. Ces barrières d'arbres extraient l'humidité des nuages et du brouillard. Ce sont les arbres isolés ou les bandes étroites d'arbres qui agissent le plus efficacement. Des travaux menés à Hawaï ont permis de déterminer qu'un seul *Araucaria heterophylla* ajoutait 760 mm de «précipitation horizontale» par an aux précipitations verticales normales de 2600 mm (www.fao.org). Cette humidité supplémentaire entre dans le système hydrologique et accroît le niveau des eaux souterraines et le débit en surface. En raison de leur hauteur et de leur grande surface d'échange, les arbres sont beaucoup plus efficaces dans cette fonction de piégeage de l'eau que les autres types de végétation. Il est donc vital pour la sauvegarde des régimes hydrologiques locaux de maintenir la forêt dans ces zones. Réciproquement, là où des brouillards ou des nuages persistants sont poussés par le vent sur les reliefs déboisés, planter des arbres permet de réinstaurer un système de capture de l'eau atmosphérique.

Figure 1: place de l'eau du sol dans le cycle de l'eau



Source : CIPR, 2001

Photographie 1 : champ de mil à saponé après une pluie



S. YAMEOGO, juillet 2009

Sur cette photographie, on constate que dans les zones dénudées les eaux de ruissellement ont une vitesse importante et l'infiltration est moindre.

L'établissement d'une plantation forestière aura tendance à réduire le débit des cours d'eau. Plus le taux de croissance des arbres est élevé, plus cet effet est prononcé. Une étude réalisée en Inde fait état d'une baisse de 28% après l'établissement de plantations d'Eucalyptus. www.fao.org/docrep

En Casamance à climat soudanien à une saison sèche, le défrichement de 10 000Ha de forêt sèche d'un seul tenant a provoqué la remontée de dix mètres de la nappe phréatique et l'apparition de nouvelles sources car les cultures ont diminué

l'évapotranspiration réelle bien plus qu'elles n'ont augmenté le ruissellement (Roose, et al, 1983)

Photographie 2 : Ruissellement sur un glacis après une pluie à Saponé.



S. YAMEOGO, JUILLET 2009

La rareté des arbres sur ce glacis entraîne un ruissellement diffus et une infiltration moindre. Ces assertions restent toujours à l'état embryonnaire et les travaux en cours donneront davantage de résultats probants.

CONCLUSION

En définitive, il ressort de la plupart des travaux des chercheurs sur la question que les arbres accroissent les disponibilités hydriques dans certains milieux mais diminuent cette quantité dans d'autres bassins versants. En effet, le sujet est encombré de mythes et de malentendus. Si les forêts peuvent certes jouer divers rôles utiles, postuler qu'elles améliorent toujours l'approvisionnement en eau relève de la simplification abusive. La profondeur du sol, les pratiques d'utilisation des terres et toute une gamme d'autres facteurs comptent aussi pour beaucoup. Bien que la compréhension scientifique des interactions entre les forêts et l'eau se soit sensiblement améliorée, le rôle des forêts dans la gestion durable des ressources en eau reste controversé. L'incertitude et, dans certains cas, la confusion demeurent, car il est difficile de transposer les résultats des recherches à d'autres pays et régions, bassins versants, types de forêts et essences et régimes de gestion forestière.

BIBLIOGRAPHIE

Andréassian V., 2002. Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants; Thèse de doctorat Université PARIS 6, 276 p.

Bailly C. et al, 1974. Etude de l'influence du couvert naturel et de ses modifications a Madagascar. Expérimentations en bassins versants élémentaires, bois et forêts des tropiques, CTFT, 114 p.

Christian L. et Thierry L., 2000. IRD à Aqua-expo 2000 : l'eau, un enjeu vital pour les pays du sud. Résumé de Poster.

CIFOR, 2007; Forests and floods, revisited. POLEX electronic policy alert, 14 novembre, 16 pages.

CILSS, 2006. Reflets sahéliens, lutte contre la désertification c'est possible, 19 p.

Dupriez H. et De Leenheer P., 1993. Arbres et agricultures multi étagées d'Afrique, CTA, 280 p.

Fournier F. et Sasson A., 1983. Écosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique, ORSTOM-UNESCO, 473 p.

Loupe D., 1980. L'intégration de l'arbre dans le développement agricole au Niger, Niamey, 14 p.

Métiers de l'eau du Sahel, 1986. Eau et terres en fuite. Editions terres et vie, 126 p.

ORSTOM-UNESCO, 1983. Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique.473 p.

Poulsen G., 1981. L'homme et l'arbre en Afrique tropicale : trois essais sur le rôle des arbres dans l'environnement africain. Ottawa : CRDI, 31 p.

Roose E., 1967. Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique sur les cultures, C.R. coll. sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive II, 385 p.*

Roose E., Lelong F., Colombani J., 1983. Influence du bioclimat et de l'aménagement des sols sur les éléments du bilan Hydrique en Afrique. *J. Sc. Hydrologiques*, 28, 2 : 283-309.

Thirrot C., 1979. Le devenir prochain de la pluie : infiltration ou ruissellement.

www.fao.org/docrep

La gestion du risque érosif cyclonique par les Tanala (Madagascar). Opportunités et limites des techniques traditionnelles pour l'adaptation au changement climatique¹.

Georges SERPANTIE² et Lovatiana Albert RAKOTONIRINA³

2. Agronome IRD BP 64501 Montpellier F 34394. courriel : georges.serpantie@ird.fr

3. Forestier et pédologue. Courriel: albert.rakotonirina@gmail.com

Résumé

Les Tanala, paysans de l'Est de Madagascar, pratiquent une agriculture temporaire sur défriche-brûlis appelée *tavy*, généralement perçue comme une cause directe et principale de l'érosion du sol. Les enregistrements climatiques récents et les projections semblent montrer un accroissement de l'activité cyclonique, facteur d'érosion et d'inondations, justifiant d'élaborer des stratégies d'adaptation. Supposant que le *tavy* comportait une stratégie pour faire face aux contraintes érosives et d'inondations, nous avons cherché à étudier les sols et processus d'érosion, les pratiques agricoles, et les savoirs locaux dans deux terroirs villageois choisis selon l'importance des reliques forestières. Une bonne cohérence a été trouvée entre le risque érosif et les pratiques, aux échelles parcelle et paysage, révélant une gestion de la vulnérabilité à travers les « services du paysage », le choix des sols, et des pratiques précautionneuses. Les interviews des paysans et la collecte de leurs classifications confirme la profondeur de leur savoir sur leur environnement. Mais à long terme, et sous pression de la population, les dernières forêts disparaissent, des écosystèmes dégradés apparaissent, et l'érosion s'accroît. Ce savoir est désormais moins opérationnel. La politique de conservation ou de restauration forestière actuelle apparaît seulement partiellement cohérente avec cette gestion locale du paysage. Afin de faire face à la fois aux changements de population et de climat, maintenir mais améliorer le système *tavy* sur pentes fortes et intensifier le riz de bas-fond sont justifiés en tant que principaux moyens de subsistance. Renforcer la conservation ou la restauration communautaire des forêts de sommets et des agro-forêts de bas de pente est justifiée pour assurer des services environnementaux locaux, régionaux et globaux, et des productions commerciales. Une diversification des moyens de subsistance est aussi nécessaire.

Mots clé : Madagascar, risque érosif, culture sur brûlis, savoirs locaux, services environnementaux, changement climatique.

Abstract

The eastern Malagasy Tanala people practise swidden agriculture called *tavy*, generally seen as a main direct cause of soil erosion. Recent climate changes in Madagascar and projections seem to increase the erosive and flooding factors, due to increasing cyclonic activity, justifying an adaptation strategy. Assuming that *tavy* included a strategy to cope with erosion constraints, we investigated soils and erosion processes, agricultural practices, and local knowledge in two village territories selected on the basis of importance of forest. A good coherence was found between erosive risk and practices, at plot and landscape levels, revealing a possible management of vulnerability through "landscape services", choice of soils, and cautious practices. Interviews of farmers and collection of their classifications

¹ Communication présentée en anglais au colloque ICARUS 2, Ann-Arbor, 5-8 mai 2011

² Agronome ; chargé de recherches ; IRD 911 Avenue Agropolis BP 64501 34394 Montpellier cedex 5 France ; tél 04 67 63 69 83 ; georges.serpantie@ird.fr

³ Soil science and forestry; ingénieur, albert.rakotonirina@gmail.com

confirmed an in-depth knowledge of their environment. But in the long run and under population pressure, last forests disappear, degraded ecosystems appear, and erosion increases. This knowledge is then less operative nowadays. Current community forest conservation or restoration policy appear partially coherent to this local landscape management. In order to face both population and climate changes, maintaining but improving steep slope *tavy* systems and intensifying lowland rice are justified in so far as main livelihoods. Reinforcing top-forests and agro-forests community conservation or restoration is justified for ensuring local, regional and global landscape services, and cash crops. A diversification of livelihoods is also needed

Key-Words: Madagascar, erosion risk, slash-and-burn, local knowledge, landscape services, climate change

Introduction

La question du changement climatique (CC) est devenue un défi planétaire. La dimension globale de cet évènement et ses répercussions locales font intervenir plus que jamais l'information dans le débat public depuis l'invention de l'effet de serre par J.B.J. Fourier (1827), les premières observations (Brown et Keeling, 1965), jusqu'à la convention-cadre sur le changement climatique de 1992 (CCNUCC) et les rapports du GIEC⁴. L'information environnementale est portée par différentes institutions et acteurs : globaux (communauté scientifique internationale, GIEC), nationaux (les réseaux climatologiques, les programmes nationaux d'adaptation⁵) et locaux (perceptions, savoirs locaux). Les preuves et certitudes communes d'un dérèglement climatique global se sont accumulées. Après le débat, l'identification d'actions pertinentes nécessite encore de nombreuses informations détaillées.

Il s'agit en premier lieu de documenter les effets, actuels et futurs du CC sur les climats locaux, sur les écosystèmes et les conditions biophysiques de la vie et du bien-être humain (en particulier les « services écosystémiques » (Daily et al., 1997 ; MEA, 2005), en interaction avec d'autres enjeux d'environnement (biodiversité, érosion, etc).

Avec le CC, les sociétés font face en continu à de nouvelles conditions auxquelles elles sont plus ou moins bien préparées. Il existe deux dimensions du CC, l'évolution tendancielle des paramètres moyens (température, pluviosité..), et le risque d'évènements climatiques extrêmes. Ces derniers posent le problème de la gestion prévisionnelle de ce risque, et de la façon dont les sociétés doivent anticiper. La vulnérabilité de chaque société rurale est un thème essentiel de la recherche sur les risques environnementaux (Scoones, 1998) et une notion centrale de la CCNUCC (Article 4.4). Comment se déclinent les vulnérabilités des systèmes « socio-écologiques », selon les niveaux de pauvreté, les types de pratiques, l'aménagement du territoire et la gouvernance des ressources ? Souvent on considère la vulnérabilité corrélée au niveau de développement humain (GIEC, 2007). Ainsi l'Afrique est régulièrement présentée comme particulièrement vulnérable au CC du fait de son faible IDH⁶. En fait la vulnérabilité apparaît plurielle dans l'espace et le temps, du fait des spécificités des impacts du changement climatique (Adger, 2006). Certaines publications offrent des lectures moins pessimistes sur la capacité d'adaptation des socio-écosystèmes africains. Les « paradigmes » de la dégradation des sols, de l'érosion, de la désertification et de la déforestation ont ainsi été parfois contestés (Fairhead et Leach, 1998 ; Rossi, 1998 ; Forsyth, 2003), avec l'exemple d'un certain reverdissement du Sahel (Olsson, 2005) et de

⁴ La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) a été adoptée au cours du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro en 1992 par 154 États et la totalité des membres de la Communauté européenne.

⁵ Le mot adaptation est défini dans le glossaire du troisième rapport d'évaluation (GIEC, 2001) : L'adaptation au changement climatique se réfère à l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse aux stimuli actuels ou attendus ou leurs effets, qui modère les maux ou exploite des opportunités avantageuses.

⁶ Indice de développement humain (PNUD, 2011)

l'adaptation de l'agriculture (Mortimer et Adams, 2001) constatés depuis les sécheresses des années 1970 et 1980. Il ne faut donc pas méconnaître ces modalités endogènes d'adaptation et repérer quelles en ont été les conditions favorables.

C'est dans ce cadre de l'analyse de l'adaptation qu'il convient d'identifier la place occupée par les savoirs naturalistes et techniques locaux, non seulement dans le diagnostic et les adaptations locales, mais encore en tant qu'idées pour la recherche de pistes d'adaptation future, ou pour d'autres régions.

La façon dont les sociétés rurales se sont déjà adaptées aux contraintes de leur milieu, aux aléas bio-climatiques et aux mutations des conditions démographiques, socio-économiques et politiques est une connaissance préalable indispensable. Cette communication se propose donc de vérifier la pertinence de la mobilisation de savoirs locaux aux côtés des autres sources d'information, en matière de diagnostic du changement climatique et de la recherche d'adaptation.

Plusieurs projets de recherche-action se sont déjà emparés de cette question à Madagascar. C'est le cas du projet IRG-USAID (2008) et du projet canadien-malgache ACCA (CRDI, 2008, Raharinjanahary et al., 2010), qui abordent les perceptions des paysans en matière de changement climatique, co-construisent des tactiques et stratégies d'adaptation et apportent un appui pour leur mise en oeuvre. Nous utiliserons certains de leurs résultats pour évaluer la pertinence des savoirs locaux sur l'évolution du climat, par comparaison à d'autres sources d'information plus formelles.

Nous nous intéresserons ensuite à un cas exemplaire, la zone Tanala, qui a fait l'objet du programme interdisciplinaire GEREM en 2005-2006 (Serpantié et al, 2007 ; Rakotoson et al., 2010). Nous y avons étudié les savoirs locaux en matière de gestion de contraintes érosives parmi les plus élevées de Madagascar, et les pratiques manifestant une bonne adaptation à ces dernières.

1. Zone d'étude et hypothèses

Les pratiques agricoles des Hautes Terres malgaches, avec leur paysage « indonésien » de rizières parfaitement étagées, contrastent avec la culture sur brûlis "basique" (appelée *tavy* en malgache) des gens de l'Est vivant au pied du grand escarpement oriental (fig 1). Les cycles répétés de *tavy* sont les principales causes directes de la déforestation à l'Est de Madagascar (Green et Sussman, 1990). L'érosion du sol est un autre processus posant des problèmes de durabilité dans plusieurs régions de l'Ile (Wells et al., 1997). Les zones de *tavy* ont été généralement décrites comme des zones de forte érosion (Bailly et al. 1976; Rossi 1979; Raunet, 1997). Sous le climat tropical hautement érosif de l'Est (2500 à 3000 mm de pluviosité annuelle, un à deux mois secs), les longues et fortes pentes des collines entraînent un risque érosif majeur (Malvos et al., 1976). Plus récemment, Brand and Rakotovo (1997) ont trouvé, sur une parcelle cultivée en riz pluvial, une perte en terre de 14,6 t/ha/an, contre 0,37 t/ha dans une jachère boisée. Ce contraste paraît confirmer le fort potentiel d'érosion diffuse du *tavy*. Les glissements de terrain apparaissent comme une autre source importante d'érosion dans cette région particulièrement sujette aux cyclones (Brand, 1997).

Pourtant, dans la région Tanala (Sud-Est), plusieurs géographes s'étaient étonnés de ne pas relever de signes d'érosion dans les paysages, malgré la pratique systématique du *tavy* dans des conditions physiques typiques de l'Est (Le Bourdieu, 1974; Battistini, 1965, cité par Le Bourdieu, 1974). De ce fait, cette région pourrait apparaître comme une exception, s'écartant de la proposition générale « le *tavy* induit nécessairement de l'érosion ».

Les Tanala anciennement attachés à leur indépendance étaient considérés comme « des gens de la forêt », pratiquant la culture sur brûlis (Le Bourdieu, 1974; Rabearimanana, 1988). Actuellement, leur forêt a pratiquement disparu, à l'exception de petits lambeaux et d'une bande continue de 10 km de large au dessus de la falaise. Les Tanala sont aujourd'hui des

paysans pratiquant le *tavy* sur des jachères buissonnantes (riz pluvial, haricot, manioc), le riz de bas-fond, et les cultures à couvert permanent représentant des cultures commerciales (banane, café, canne à sucre). Leurs moyens de subsistance sont complétés par la collecte de miel sauvage, le bûcheronnage, un petit élevage et le trafic de *toaka gasy*, un rhum artisanal.

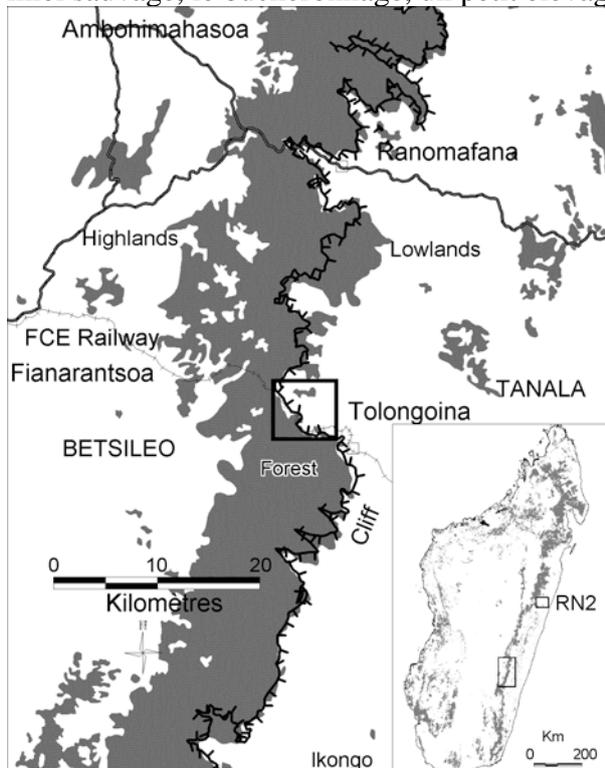


Figure 1: Zone d'étude (Commune Tolongoina, région Tanala, Madagascar)

En hypothèse, la faible occurrence apparente de l'érosion dans la région Tanala pourrait s'expliquer par une bonne adaptation des pratiques Tanala typiques à une forte érosivité climatique, à une forte susceptibilité topographique à l'érosion, et à des érodibilités variées des sols. Derrière ces pratiques adaptées, des connaissances spécifiques et une organisation sociale peuvent exister. De tels savoirs et savoir-faire pourraient alors être perçus comme une « pré-adaptation » au changement climatique. Ce savoir éventuel serait utile à prendre en compte dans une stratégie d'adaptation au CC des sociétés rurales de l'Est.

3. Méthodes

Afin d'établir la pertinence de l'information disponible sur le changement climatique, nous avons cherché à comparer les résultats climatologiques sur le CC et les perceptions locales relevées par les rapports des projets de Recherche-Action présents à Madagascar. Le niveau de pertinence a été déterminé à travers plusieurs critères, les variables retenues, la rigueur de l'analyse, et la cohérence entre les résultats des diverses sources d'information. Pour documenter le niveau de pré-adaptation des pratiques Tanala au CC que l'étude des savoirs sur le climat a montré (qui met en exergue un risque d'érosion et de feux accru), nous avons décrit et analysé leur mode actuel de gestion de l'érosion et du feu dans leur environnement climatiquement et topographiquement très propice à l'érosion. Pour ce faire, nous avons mis en oeuvre une investigation interdisciplinaire incluant les sciences du sol, l'étude des pratiques agricoles (Milleville, 1987), une analyse du paysage de géographie humaine (Blanc-Pamard, 1986), et une collecte de classifications locales des objets de la nature et des techniques (Friedberg, 1992). Les résultats détaillés ont été publiés dans Rakotoson et al. (2010).

Deux territoires villageois, au pied de la falaise Tanala, bordant le chemin de fer FCE, furent sélectionnés dans la commune de Tolongoina (fig. 2). Ce choix a pris en compte le taux de forêts restantes, un critère pertinent pour une étude de l'érosion en rapport avec la déforestation (Ambalavero avec 31% de couvert forestier et sans écosystèmes dégradés, et Ambodivanana avec 10% de forêt et 25% de « *roranga* »⁷).

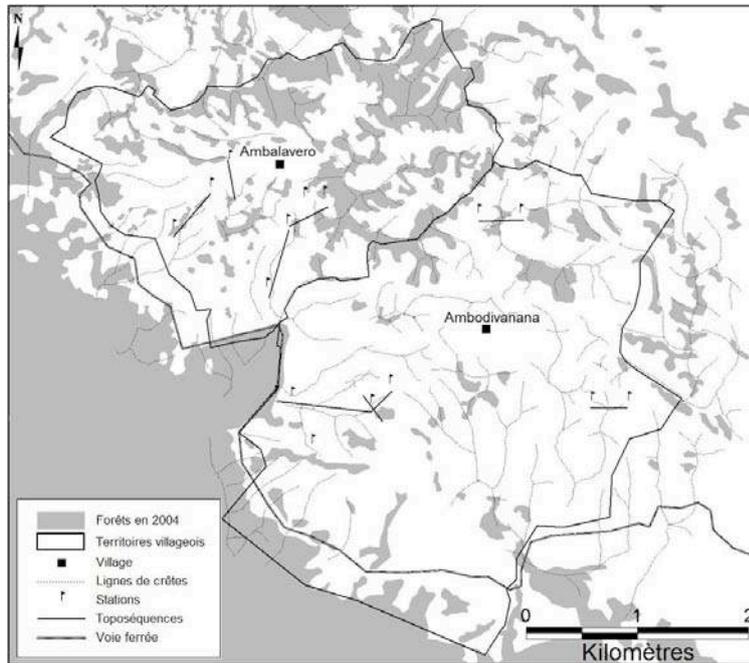


Figure 2: Les deux villages d'étude et toposéquences d'étude.

4. Les changements climatiques à l'Est de Madagascar

Un changement climatique prononcé est attendu à Madagascar à l'horizon 2055 (Hewitson et Crane, 2006, Tadross et al., 2008, Hannah et al., 2008). Plusieurs sources d'information sont disponibles pour préciser cette information en vue de la recherche d'adaptation : projections de modèles planétaires, recueils et analyse d'observations climatologiques et enfin, savoirs et perceptions locales.

Simulations de modèles climatiques

Les simulations à partir d'une extrapolation et du changement d'échelle de six modèles de circulation permettent de prévoir pour 2055 un accroissement moyen de + 1,1°C (Nord et zone côtières de l'Est) à +2,6°C au Sud (Tadross et al., 2008).

Pour la région Sud-Est, les projections prévoient un accroissement de pluie en saison humide d'environ +100 mm/mois (janvier-avril) du fait de l'accroissement de la chaleur et de l'humidité atmosphérique en été, favorisant les précipitations convectives, avec des interactions probables entre mécanismes (par exemple un moindre nombre de jours de pluie).

Il y aurait en revanche une diminution des pluies en saison froide et « sèche » (environ -50 mm/mois) du fait du recul des tempêtes d'hiver vers le sud à cause de l'augmentation des hautes pressions continentales.

Les changements en potentiel de génération cyclonique indiquent une baisse de fréquence des cyclones en première partie de saison cyclonique, en revanche leur intensité est susceptible d'augmenter à la fin du XXI^e siècle (Tadross et al., 2008).

⁷ Les *roranga* sont des écosystèmes dégradés (graminées, fougères), au lieu de végétation arbustive (jachères kapoka) ou arborée (forêts ala)

Données climatologiques d'observation : températures et pluies

Sur le XX^e siècle, aucune tendance nette n'apparaît sur le signal température (fig 3), selon les moyennes mobiles réalisées pour le Nord comme pour le Sud de Madagascar, à partir des bases de données mondiales (Mitchell et al., 2004, cité par Tadross et al., 2008). Ce signal fluctue cependant, l'intervalle entre maxima et minima lissés étant de 0,8°. Ces graphiques font apparaître deux minima vers 1955 et 1970, encadrés par deux maxima, autour de 1925 et 2000. Ces minima correspondraient à un refroidissement global, (volcanisme et sulfates).

En examinant seulement la deuxième moitié du XX^e siècle, et seulement la partie Sud de l'Ile, Tadross et al (2008) mettent en exergue un accroissement régulier du signal température (notamment T min) à partir du minimum de 1970 jusqu'à 2000, attribuables au CC après prise en compte du refroidissement global (fig 3).

De même, il n'existe pas de tendance notable sur le signal pluie⁸. Il existe en fait de multiples pics de pluies (1900, 1938, 1965, 1985) coïncidant au Nord et au Sud, et deux minima, 1955 et 1975. Mais l'accroissement du signal pluie n'est de toutes façons pas attendu avant plusieurs décennies (Christensen *et al.*, 2007). Les données d'observation du XX^e siècle ne valident donc pas encore de façon parfaitement convaincante le scénario retenu par les modélisateurs, ni en matière de températures, ni de pluies, qui restaient jusqu'en 2000 dans la gamme observée antérieurement.

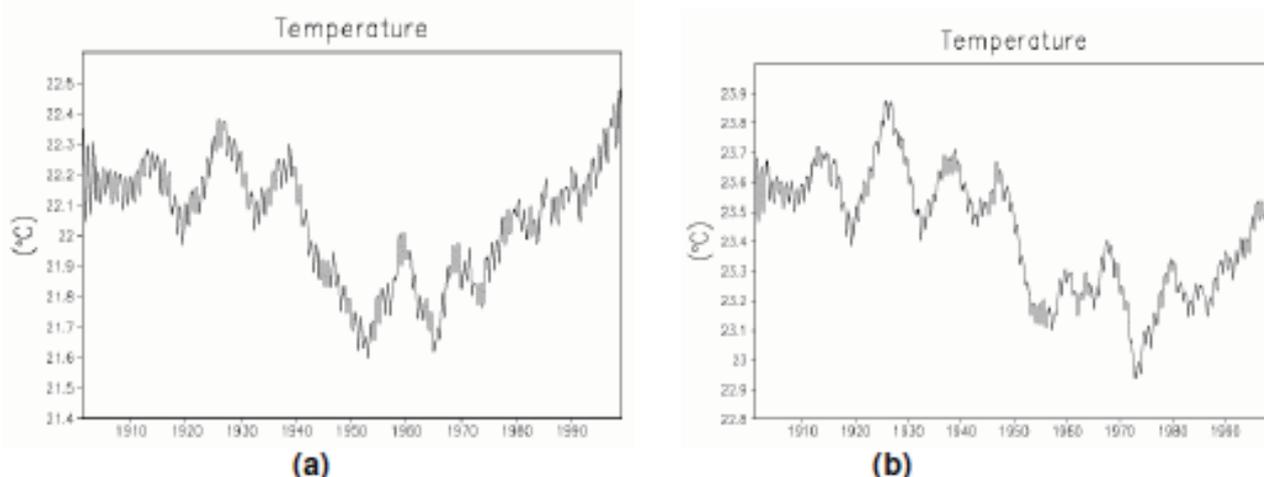


Figure 3: Moyenne glissante à pas de 6 ans de la température (°C) de l'air en surface mesures 1901-2000: a) Sud Madagascar (43-51°E, 27-20°S); b) Nord Madagascar (43-51°E, 20-11°S). Source: Tadross et al., 2008, p12, base de données du Climate Research Unit (Mitchell et al., 2004).

Autres composantes climatologiques représentant des conditions biologiques

L'agriculture, l'élevage ou les écosystèmes forestiers dépendent aussi d'autres variables climatologiques. La variabilité des pluies (dates d'entrée de la saison des pluies, poches de sécheresse en saison des pluies, etc), n'a pas été documentée par les climatologues du « rapport sur le changement climatique ». Mais les agronomes des programmes d'adaptation, Alizany et al. (2010) montrent, à partir des données du Lac Alaotra, un retard des pluies croissant, et un accroissement de la variabilité en cours de saison des pluies depuis trois décennies.

Pour des biologistes de la conservation, les hivers ont été plus secs au parc de Ranomafana pendant 1986–2005 en comparaison de 1960–1985, et la production de fruits et la survie des lémuriers a diminué (Wright, 2007). Les météorologues nationaux, Rabefitia et

⁸ L'intervalle min-max observé est de 85 à 105mm/mois au Sud, et 120 à 160 mm/mois au Nord

al, 2008, (cités par Raharinjanahary et al., 2010) indiquent que le nombre de cyclones violents de catégorie 4-5 nés dans le Sud-Est de l'Océan Indien s'est accru de 1,5 par an (18% du total) en 1975-1989 à 3,3 par an (34%) entre 1990-2004.

Il existerait donc une variation climatique sur les dernières décennies sur diverses variables : fréquence et violence cyclonique accrue, irrégularités et retards de pluies, saisons sèches plus longues et plus sèches, et température croissante depuis le minimum historique de 1970. Reste à savoir quelle serait la part du changement global anthropique, des variations aléatoires naturelles, et de facteurs locaux (déforestation par exemple) dans cette évolution.

Perceptions actuelles du climat à Madagascar

Le début capricieux de la saison des pluies 2010-2011 a entraîné diverses conséquences sur les filières agricoles. La filière des lichies d'exportation en a particulièrement souffert par défaut de calibre, et la chaleur n'a pas permis aux actions d'irrigation d'atteindre les résultats désirés. Ces contraintes sont nouvelles pour les paysans (Saralea, 2010).

Les agriculteurs de la région Alaotra-Mangoro ont confirmé l'apparition de retards croissants du début de la saison pluvieuse ainsi que de séquences sèches en pleine saison de pluie, donnant une impression d'imprédictibilité du climat croissante (Alizany et al, 2010).

Pour la région Analanjanorifo (Nord-Est), première région touchée par le risque cyclonique, un programme de recherche-action a mis en évidence que la culture de giroflier qui constituait jadis la principale source de revenu est actuellement sérieusement dégradée à cause des cyclones croissants en nombre et intensité (Raharinjanahary et al., 2010).

Problèmes d'objectivité et de pertinence des variables analysées

Le rapport sur le changement climatique rattache la tendance de température des trois dernières décades du XX^e siècle, dans la région Sud, au changement climatique global, en prenant en compte d'autres phénomènes (volcanisme). Cette méthode d'analyse consiste à sélectionner variables, périodes et régions qui vérifient les hypothèses issues des scénarios internationaux (croissance tendancielle des températures). Les analystes ne devraient ils pas plutôt poursuivre leurs investigations le plus objectivement possible, par la mise à jour régulière des données, leur analyse globale, et travailler aussi sur les variables d'analyse intéressant les acteurs locaux ? Par exemple la variabilité des pluies en saison agricole (saison des pluies), ou l'évolution observée du risque cyclonique au XX^e, que l'on trouve dans les rapports de recherche-action et dans les dires d'acteurs, sont les seules données absentes du rapport « Climate Change in Madagascar ».

Bien que les perceptions des acteurs locaux soient toujours complexes à interpréter, elles convergent mieux avec les analyses fréquentielles assurées par les ingénieurs des projets de recherche-action (caractères de la saison des pluies) et des ingénieurs météo locaux (fréquences cycloniques). De ce fait, les « savoirs locaux », apparaissent paradoxalement plus objectifs et pertinents sur les évolutions récentes que les études officielles du changement climatique, influencées par le « paradigme » du CC qui insiste sur la tendance thermique séculaire. De plus, ils ont l'avantage d'être plus en prise avec les réalités locales.

Remarques conclusives

L'on doit retenir, pour l'Est de Madagascar, plus un accroissement de la variabilité climatique et une aggravation de l'activité cyclonique sur les dernières décennies, qu'une tendance séculaire nette sur les pluies ou la température.

Pour la région Sud-Est humide, à laquelle appartient la région Tanala, on attend pour 2055 des contrastes saisonniers plus accentués (plus de pluies en saison des pluies, plus de

sécheresse en saison sèche), conduisant à l'aggravation des aléas climatologiques auxquels les gens doivent déjà faire face, tant vis-à-vis du risque érosif, que du feu.

Ces résultats invitent non seulement à une *adaptation tactique de variétés moins sensibles*, comme les programmes de recherche action le proposent déjà, mais aussi, et en tout premier lieu, sur *des stratégies d'adaptation plus structurelles* (et collectives). De telles stratégies existent déjà. Ce sont celles que les populations ont déjà mis en oeuvre depuis longtemps pour faire face aux lourdes contraintes récurrentes qui marquent leur environnement, mais aussi certaines stratégies mises en place dans le cadre de politiques de conservation. Elles feront l'objet de la partie 4 de cette communication.

5. La gestion Tanala du risque érosif

La gestion actuelle du risque d'érosion a été étudiée par une étude interdisciplinaire des territoires de deux villages Tanala.

Paysages et sols

La zone de Tolongoina au pied de l'escarpement consiste en collines à pentes raides et vallées étroites entre 300 et 800 m d'altitude (fig. 4). Les villages et les zones agricoles sont établis à la base de l'escarpement et dans la zone des collines. Le pays anciennement forestier des Tanala (c'est-à-dire les « gens de la forêt ») a été, pour une large part, peu à peu converti en un couvert arbustif (*kapoka*), et ensuite, en quelques endroits, en un couvert herbacé (*roranga*), par des *tavy* et des feux de brousse répétés (Linton, 1933; Serpantié et al. 2007b). Les deux territoires villageois incluent le sommet forestier de la falaise (au dessus de 800 m), la pente de l'escarpement (pentes de 30° à 60°), et la zone collinaire (relief disséqué « à facettes » avec une altitude moyenne de 500m, des pentes de 20 à 40° et des sommets portant des lambeaux forestiers).

Les territoires agricoles d'Ambalavero et d'Ambodivanana ont des densités de population de 27 et 43 habitants/km² respectivement.



Figure 4 : Paysage d'Ambalavero (cliché A. Toillier)

Selon les cartes géomorphologiques disponibles au 1/500,000 (Riquier 1968; Delenne et al. 1980), la zone de Tolongoina présente les mêmes types de paysages et de sols que la région Betsimisakara qui a fait l'objet de recherches expérimentales sur l'érosion (route N2, Nord-Est, fig 1). Situées au pied du grand escarpement, ces deux régions présentent une roche-mère gneissique, et sont marquées par un relief profondément disséqué, sous forme de collines aux pentes raides couvertes d'un sol ferrallitique. La perméabilité de l'horizon de surface A est toujours très élevée. Il existe en revanche un horizon B peu perméable sur les sommets et sur les bas de pentes, mais rarement sur le milieu des pentes raides (Rakotoson et al., 2010). La forêt améliore l'infiltration sur sols peu perméables.

Aucun symptôme d'érosion massive n'a été trouvé dans la zone d'étude (Rakotonirina, 2005).

Des épisodes d'érosion en masse (glissements de terrain) et d'érosion linéaire sont observables localement, après les cyclones, mais ils ne sont ni invasifs, ni généralisés comme on pourrait s'attendre en considérant les conditions physiques [relief accusé, 2500-3000 mm de pluie, cyclones fréquents], les pratiques de *tavy*, et ce que la littérature décrit sur les effets du *tavy*. Ces observations confirment les observations anciennes des géographes sur des signes limités d'érosion dans cette région. Pourtant, les paysans ne pratiquent aucun aménagement antiérosif fortement recommandés par les services techniques pour combattre l'érosion sur les fortes pentes agricoles soumises à un climat érosif. Cependant une densité plus grande de symptômes a été observée dans le territoire d'Ambodivanana, fortement déforesté.

Pratiques culturelles et de construction paysagère

Le *tavy* est le principal système de culture Tanala, appliqué aux pentes forestières des collines et plus généralement aux pentes anciennement forestières et actuellement arbustives⁹. Successivement, toute la végétation est défrichée, y compris les arbres ; les résidus étalés sèchent pendant la courte saison sèche (octobre-novembre) avec un pare feu autour, puis sont brûlés plus ou moins complètement selon la teneur en eau. Le riz et/ou les haricots sont alors semés dans des trous réalisés avec un simple bâton pointu. Un désherbage manuel par arrachage et la surveillance contre les oiseaux sont les seules opérations en cours du cycle de riz. Après la récolte des panicules, les boutures de manioc sont plantées en début de saison sèche, sans travail du sol (simple entaille) après un binage superficiel des tiges de riz et du recrû avec une bêche usée. Le manioc sera superficiellement sarclé à une ou deux reprises avec une bêche. Une fois ce dernier progressivement récolté après un ou deux ans de croissance, le champ reste en jachère jusqu'à un nouveau *tavy*. Linton (1933) avait noté, pour la zone dense d'Ikongo, une durée de friche de 5 à 10 ans. Actuellement 5 années serait plutôt une moyenne.

Les paysans plantent aussi des bananiers et de la canne à sucre (qu'ils transforment en rhum local, le *toaka gasy*) sur les bas de pente et les creux topographiques, du riz dans les bas-fonds marécageux après drainage, et du riz irrigué sur les bordures de bas-fonds et thalwegs mis en terrasses (fig. 4). Le riz et le manioc constituent les vivriers de base, tandis que les bananes et la canne à sucre servent de cultures commerciales, ayant largement remplacé le café. Un examen détaillé des pratiques actuelles (Rakotoson et al., 2010) met en évidence de multiples dimensions: le positionnement des champs dans le paysage, la méthode de préparation du sol, et les caractéristiques du cycle culture-jachère. Tous ces caractères du système de culture sont inter-reliés, et peuvent être interprétés comme un système de règles appliquées par chaque Tanala.

Principe 1: Mettre en oeuvre un système de gestion de l'espace. Autant que possible, éviter de pratiquer le *tavy* dans les zones pourvues de risques de ruissellement ou de dépôts

⁹ Cette culture temporaire appartient soit à la classe des cultures itinérantes soit à jachère, en fonction des durées de cultures et de jachère (Ruthenberg 1971)

d'érosion en masse : gouttières *gebona*, pentes très raides *harana* (>40°), et bas de pentes. Les zones dégradées et appauvries *roranga* sont aussi évitées. Les sommets sont évités et restent en forêt car les sols sont pauvres et les jachères s'y régénèrent mal (voir principe 3). Une pratique additionnelle de réduction du risque érosif est la conservation active des jachères au dessus d'un *tavy*. Les cultures à couvert permanent (banane, canne, café) sont réservées aux zones à risque. Les bas-fonds inondables sont cultivés en deux cycles, successifs ou non pour limiter le risque d'inondation cyclonique.

Principe 2: Ne pas perturber la structure du sol, ou si c'est nécessaire, le faire aussi superficiellement que possible, le plus rarement possible, ou de manière progressive (récolte du manioc par exemple), avec un étalement des résidus. Ceci minimise le risque qu'un sol ameubli soit entraîné par un éventuel ruissellement ou que des cavités provoquent des sur-infiltrations et des glissements de terrain¹⁰. Ceci permet aux jachères de mieux se régénérer (cfr principe 3). Le terrassement, les canaux sont réservés aux terres les plus stables (alluvions, pentes faibles, éboulis anciens).

Principe 3: Culture temporaire et longue jachère (plus de 5 ans autant que possible) : laisser l'écosystème de pente cicatriser aussi longtemps que possible après défriche. Ainsi la structure du sol reste meuble pour permettre la culture sur les sols non labourés (cfr principe 2).

Un quatrième principe a été enregistré par Le Bourdieu (1974) : Défricher des forêts (primaires ou secondaires) de préférence aux jachères *kapoka*, les Tanala disant que l'érosion se développe plus sur un *tavy* de jachère que de forêt. Ce principe impliquait la mobilité. Actuellement, ce principe ne peut plus être suivi, depuis que les reliques forestières sont protégées comme réserves, et depuis que les villages sont définitivement sédentaires.

Ces principes techniques reliés peuvent être qualifiés de "passifs" étant donné qu'ils ne sont pas des actions en tant que telles, mais plutôt des actes passifs : abandonner les champs, ne pas travailler le sol ni dessoucher, éviter certaines zones. Pourtant, ce sont bien des principes implicites de gestion précautionneuse du milieu.

THEME	VOCABULAIRE	
	Malagasy <i>tanala</i>	Français ou <i>Latin</i>
Morphologie générale	<i>efitra, an-tety</i>	crêtes, plateau
	<i>amboditety</i>	ped de l'escarpement
	<i>vohitra</i>	collines à pentes raides
Pentes	<i>harana</i>	pentcs très raides
	<i>foringa</i>	pentcs moyennes
	<i>harenana</i>	replats et pentcs douces
Vallées	<i>gebona</i>	creux sur versants et vallons
	<i>farihy</i>	bas-fonds
	<i>horaka</i>	marais
Exposition	<i>mianatsimo loha</i>	exposition nord « tête au sud »
	<i>ala, Tanala, an ala</i>	forêt mature ; Gens de la forêt, pays <i>tanala</i>
Végétation et cultures	<i>tavy</i>	action de défriche-brûlis, champ sur d.b., syst. de culture sur d.b.
	<i>tovoindy</i>	jachère herbacée d'interculture riz-manioc
	<i>hibohibo</i>	jeune jachère arbustive (2-4 ans)
	<i>kapoka, k. antitra</i>	jachère arbustive (>5 ans), jachère boisée
	<i>roranga</i>	couvert herbacé après multiples <i>tavy</i> , feux, jachères courtes
	<i>am-patrana</i>	région sans forêt (pays <i>betsileo</i> de pseudo-steppes)

¹⁰ Par exemple, on ne dessouche pas, on ne laisse pas d'arbres dans les défriches, de peur qu'en remuant avec le vent, ils ne déclenchent des fissures qui seraient autant d'entrées pour les eaux de ruissellement, entraînant des glissements de terrains lors des cyclones.

Plantes indicatrices de terrains à riz	<i>hazo hambo</i> <i>Longoza</i> <i>Harongana</i> <i>dingana vavy</i>	arbres <i>Aframomum angustifolium</i> <i>Harungana madagascariensis</i> <i>Psiadia altissima</i>
Plantes indicatrices de terrains impropres au riz	<i>Ringotra</i> <i>Ampanga</i> <i>Anjavidy</i> <i>Radriaka</i> <i>Tenina</i>	<i>Dicranopteris linearis</i> <i>Pteridium aquilinum</i> <i>Philippia spp.</i> <i>Lantana camara</i> <i>Imperata cylindrica</i>
Outils agricoles et forestiers	<i>angady, miava</i> <i>goro, mibioka,</i> <i>famaky, antsilahy,</i> <i>Fitomboaka</i> <i>Karima</i>	bêche étroite, binage léger à l' <i>angady mondro</i> (usée) Serpe d'abattis à manche long, fauchage d'adventices au <i>goro</i> Cognée, hache d'abattis bâton à semer lame à récolter les panicules
Description du sol	<i>Tany</i> <i>tany mainty</i> <i>tany roaka</i> <i>Volondohan</i> <i>tany mena mavo</i> <i>tany mena voalohany</i> <i>andrin tany</i> <i>tain kenkana</i> <i>menaka, emboka</i> <i>tsiron-tany</i>	sol, terre, terre des ancêtres horizon "A ₀ ", horizon organique (seulement sous forêt) horizon "A" après défriche-brûlis horizon "A" d'un sol cultivé ("cheveux de la tête") « terre rouge-jaune » (horizon B ou BC jaune sur rouge) « première terre rouge » (horizon B ou BC) « pilier du sol » (horizon C) turricules de vers « huile » (matière organique) « goût du sol », nutriments et propriétés du sol liées à sa fertilité
Propriétés du sol	<i>malemy / mahery</i> <i>tsara / ratsy</i> <i>mainty / mena</i> <i>lonaka / maina</i> <i>mafana / manara</i> <i>Maditra</i> <i>am-patrana</i> <i>Masiaka</i>	meuble, gentil / dur, fort bon / mauvais noir / rouge arrosé / sec chaud / froid indomptable, têtu. Généralement associé à la végétation <i>roranga</i> A la steppe (sans forêt), région de sols durs rude, sévère, méchant, attaché à un interdit (<i>fady</i>)
Erosion et ruissellement	<i>tany toha</i> <i>tany miambaka</i> <i>longeona, hady</i> <i>Abolima</i> <i>ranovohitra, sagoaka</i>	glissement de terrain fissures, décrochements chenaux souterrains, rigoles profondes éboulement des tranchées et des talus de la voie de chemin de fer ruissellements massifs en période cyclonique, ruisseaux et crues

Tableau 1 : Vocabulaire des Tanala de Tolongoina en rapport à l'érosion (dérivé de Rakotonson et al, 2010)

Seules les forêts des creux et des pentes ne sont pas ménagées, ces «gens de la forêt» étant en fait, des paysans pionniers plus que d'authentiques forestiers. Cette technologie rudimentaire n'est donc pas due à une ignorance agricole, mais plutôt à une forme d'économie environnementale, en harmonie avec d'autres aspects de la culture temporaire tels que la gestion de l'écosystème (le contrôle de l'enherbement, la disponibilité en nutriments, le maintien de capacité de régénération), l'économie du travail, et une économie de l'organisation (chaque paysan gérant une toposéquence). Ainsi, un système de gestion du risque érosif existe bien, révélé autant par les caractéristiques du *tavy*, les discours techniques et une connaissance fine du milieu que montre les classifications locales en rapport avec l'érosion (tab 1).

Dépendance des processus érosifs vis à vis de l'état de l'écosystème

Selon nos observations que confirment les savoirs locaux, l'érosion peut se produire dans les champs de *tavy*, mais rarement, et différemment selon les conditions d'écosystème et de gestion. Le *tavy* conduit toujours à l'érosion de l'horizon de surface organique (A₀) qui peut être déjà partiellement détruit lors du brûlis. L'érodibilité de la plupart des sols

ferrallitiques de milieu de pente, très perméables, reste faible, tant que la végétation n'a pas été dégradée par de multiples *tavy*, par des jachères trop courtes, et des feux de brousse, et que les forêts des sommets n'ont pas été coupées.

Les pentes fortes sont, paradoxalement, les plus sûres pour des cultures annuelles temporaires sans travail du sol. Le niveau de perturbation physique du sol est un facteur impactant autant la capacité de régénération de la végétation (Randriamalala et al. 2007) que le risque érosif (Brand et Rakotovo 1997) comme le savent les paysans. En pays Tanala, le *tavy* reste heureusement sans travail du sol. Les mauvaises herbes sont arrachées ou binées avec précaution avec une bêche usée. Les seuls endroits où les Tanala labourent ou creusent des canaux sont les rizières sur alluvions Fluvisols et les terrasses sur des bas de pente peu pentus. Ces travaux délicats sont souvent réalisés par des salariés Betsileo des Hautes Terres au climat tempéré, où le labour, les canaux et le terrassement, posent beaucoup moins de problèmes, et y sont devenues les normes techniques. Dans le cas d'écosystèmes dégradés ou en l'absence de forêts de sommets, l'érosion diffuse s'accroît sous un faible couvert végétal.

Le nombre de brûlis de *tavy* et de feux de brousses, la position de la couverture boisée dans le paysage, la durée de jachère, les pratiques culturales, le degré de pente, le type de sol local et la texture du sous-sol, sont donc les multiples sources de variation du risque érosif local. Aussi, le savoir scientifique, qui attache systématiquement le *tavy* à une érosion sévère peut avoir été faussé par une généralisation hâtive des résultats des premières expérimentations des années 1960. Celles des années 1990 fournirent de nouvelles perspectives mais l'échantillonnage était aussi limité (une parcelle, un an). En 1995, à Beforona, 144 t/ha/an de perte en terre ont été mesurées sur un champ labouré de gingembre, tandis que le riz pluvial de *tavy* perdait 14,6 t/ha/an, une nouvelle jachère 5,5 t/ha/an, et une vieille jachère boisée *kapoka* seulement 0,37 t/ha/an (Brand and Rakotovo 1997). Ces données montrent le risque majeur lié au travail du sol. La valeur annuelle de perte en terre sur l'ensemble du cycle du *tavy* serait seulement de 5 t/ha/an environ, soit 0,5 mm de sol.

Le type de couvert végétal et le niveau de perturbation du sol sont les deux seuls facteurs testés dans les expérimentations en parcelle d'érosion. Nos études au champ montrent que beaucoup d'autres facteurs devraient être pris en compte dans la gestion du risque érosif, en premier lieu la position dans le paysage, ce que les paysans prennent précisément en compte, comme une règle collective. Aussi, compte tenu de l'ensemble des précautions observées, la moyenne de l'érosion dans les « jeunes » paysages de *tavy* est probablement bien inférieure à 5t/ha/an, mais elle augmentera avec le temps.

Limites de la gestion du risque érosif en cas de pression démographique.

Le taux de paysans cultivant le riz pluvial à Ambalavero était de 44% en 2006, mais de seulement 9% à Ambodivanana. Le facteur limitant contrôlant la production à Ambodivanana est la fertilité. L'impact de la culture temporaire sur la fertilité dépend de plusieurs variables, le plus important étant la durée de jachère et la réserve de forêts. La croissance de population, et la rareté de forêts sous le climat favorable au riz pluvial (<800 m sur l'escarpement, Serpantié et al., 2007b) ont d'abord contribué à réduire la période de jachère. Le système de gestion contractualisée des forêts mis en place par le gouvernement malgache à Tolongoina en 1999 a promu des règles de conservation et a rendu aux communautés une responsabilité pour la gestion de leurs forêts. En échange de ce nouveau droit, la communauté était obligée de s'engager à limiter le *tavy* aux jachères de moins de 5 ans. Aujourd'hui, les paysans ne défrichent plus ni forêts ni jachères de plus de 4 ans, et n'osent pas laisser en jachère plus de 2 ans, de peur de perdre d'autres terres. Ils sont partagés entre ces nouvelles règles qui leur font réduire les temps de jachères, leurs propres règles (jachères de plus de 5 ans autant que possible) et la perte d'espace qui s'ensuit. A

Ambalavero, où n'existaient pas de terres dégradées, le système de culture a réduit sa durabilité avec de telles jachères courtes. Localement de nouveaux *rorangas* sont observés.

Avec une densité de population plus forte, Ambodivanana avait été exploité pendant une durée plus longue que Ambalavero, et montre un environnement dégradé avec 25% de *roranga* (fig. 5). Il faut prendre en compte le nombre de cycles culture-jachère, chaque nouveau recrû de jachère étant plus lent que les précédents (Pfund, 2000). De plus, la dynamique régressive de la végétation des jachères tend vers une composition riche en espèces favorables aux feux de brousse (graminées, fougères) caractéristique de la végétation *roranga*. A Ambodivanana, il y a plus de signes d'érosion linéaire et les sols contiennent moins d'argile, autre signe d'érosion. En cas de *tavy* sur une jachère trop courte ou sur un *roranga*, les rendements de riz sont trop faibles et beaucoup de paysans y ont renoncé pour se consacrer au seul manioc, dont le pouvoir érosif est supérieur du fait des perturbations du sol (binage et récolte).

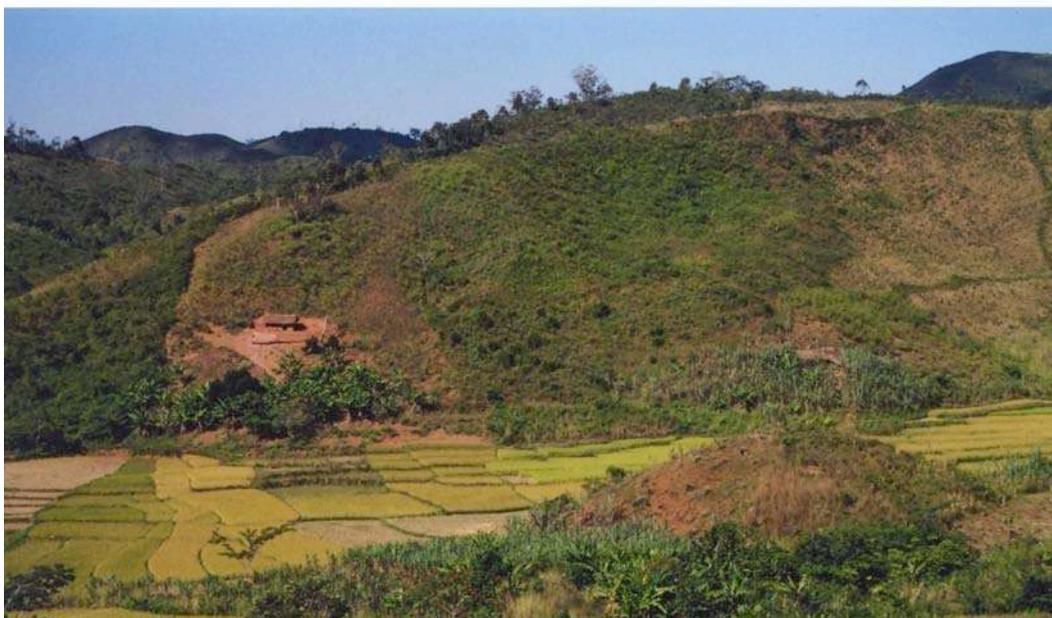


Figure 5 : Paysage cultivé à Ambodivanana. Crêtes déforestées à végétation dégradée *roranga* (cliché G.Serpantié)

Bien que la dégradation du sol soit admise par la plupart des paysans d'Ambodivanana, leurs techniques n'ont pas changé. A cause des besoins vivriers, les terres de moins en moins fertiles sont paradoxalement destinées à être de plus en plus intensivement exploitées. Comme *dans tous les villages Tanala, ils n'utilisent ni engrais ni fumier*. Les options techniques de nouvelles variétés et systèmes de culture intensifs sont peu nombreuses, ou non faisables eu égard aux risques additionnels, coûts d'investissement, ou conditions requises (Serpantié et al. 2007c). De nouvelles filières commerciales (comme le Jatropha ou la vanille) sont encore sans résultats probants, ou négligées par des gens souffrant à un niveau plus élémentaire d'un accès réduit aux services de base (hôpitaux, écoles, barrages d'irrigation, routes). Tolongoïna, le plus gros village, avec un marché et un centre de soins, est à trois heures de marche rapide, et ni Ambodivanana ni Ambalavero n'ont leurs propres écoles.

6. Discussion

Nous nous proposons de discuter de la pertinence des savoirs locaux en matière de climat et en gestion du risque érosif.

Madagascar donne un bon exemple des problèmes de compatibilité entre les multiples sources d'information sur le CC. Nous avons montré la pertinence d'une approche travaillant simultanément sur les savoirs et perceptions locales et une approche scientifique. Cette dernière peut être divisée en un certain nombre de disciplines, d'approches, de pas de temps, de variables. Chacune fournit une information utile pour autant que l'analyse reste objective et relative à des problèmes concrets. Les études basées sur les données climatiques et les savoirs locaux sont très utiles pour les tactiques et stratégies d'adaptation actuelles, d'autres (simulations de modèles) sont nécessaires pour des politiques à long terme mais sont plus difficiles d'emploi pour le court terme.

La richesse de savoirs que les paysans des Hautes terres ont de leurs sols et du contrôle de l'érosion a été étudiée antérieurement (Rakoto-Ramiarantsoa, 1995; Blanc-Pamard et Rakoto-Ramiarantsoa, 2006). En contraste, on savait encore peu de choses des populations Tanala de l'Est, considérées longtemps plus comme un peuple forestier qu'un peuple de paysans. Rakotoson et al. (2010), ont mis en évidence un profond savoir formel, sous forme de classifications détaillées des objets d'environnement liés à la problématique de l'érosion, tab. 1), ce qui confirme nos déductions, même si les règles que nous avons proposées ne sont jamais formellement énoncées par les Tanala eux mêmes. Notre recherche s'est ainsi appliquée à mettre au jour un système de gestion des terres sous-jacent aux pratiques, qui pourrait expliquer la faible occurrence de symptômes d'érosion, dans un pays où l'érosion due à un climat tropical pluvieux et pentes très fortes est un risque majeur. Bien que leurs outils soient rudimentaires, les pratiques Tanala ont pu être interprétées comme de multiples précautions pour prévenir les risques de pertes de terre. La manière des Tanala de conduire le tavy et ses règles implicites, et la richesse de leurs savoirs sur leur écosystème, ont été des clés de réduction de la vulnérabilité au risque érosif, en particulier cyclonique.

Bien que souvent diabolisé dans le monde scientifique et technique, le tavy, tel que conduit par les Tanala, semble particulièrement adapté à la topographie accidentée et au climat tropical très humide. Une telle « adaptation culturelle » à son environnement avait déjà été notée par Kotak (1971). Cependant, ***adapté ne signifie pour autant ni « durable », ni adapté à n'importe quelles conditions.*** Dénier un risque érosif dû au tavy serait aussi fallacieux que dénoncer le tavy sur le fait du risque érosif qu'il accroîtrait. De plus, tous les systèmes « tavy » ne sont pas égaux en perte en terre. Ainsi, les manifestations érosives s'accroissent visiblement dans un village ***déforesté depuis longtemps***. La proposition « le tavy induit de l'érosion » a donc été confirmée à long terme, dans le cas de fortes densités de population, et des populations sédentaires. Au contraire, dans les villages qui ont été déforestés depuis moins d'un siècle, et dont la déforestation n'a pas atteint les crêtes, les pratiques et les savoirs locaux permettent encore d'atténuer le risque érosif.

Une forte population résidente, une faible disponibilité en rizières, un temps écoulé important depuis la déforestation, des pratiques moins précautionneuses par nécessité, peuvent constituer des facteurs aggravants qui peuvent ne pas trouver de réponse dans les savoirs locaux. Cependant emprunter à partir d'autres corpus cognitifs dans le but de s'adapter à la densité de population ou à une aggravation des risques climatiques requiert de la prudence. Adopter le système de gestion de la région Betsileo, reconnue pour ses savoirs-faire sophistiqués, conduirait à des catastrophes pires, particulièrement avec le changement climatique (fig. 6).



Figure 6 : Eboulement sur parcelle aménagée en « rideaux » par un migrant Betsileo (cliché Serpantié)

7. Conclusion: Potentiel et limites des savoirs locaux dans la recherche de solutions de consensus pour faire face à la pression démographique et au CC.

L'étude du détail des pratiques et des représentations des sols a permis de comprendre pourquoi l'interdiction gouvernementale de défricher les dernières forêts de sommets de colline et l'obligation de mettre en place des pare-feux au nom de la conservation de la biodiversité ou des « services écosystémiques » était respectée voire encouragée par les paysans d'Ambalavero. Cette injonction ne contredisait pas les savoirs locaux sur les fonctions locales des forêts (protection des pentes et des sources, conservation des ressources en bois, en miel de proximité, sur les besoins de faune du sol). Elle ne coûte pas cher socialement, du fait que les forêts restantes se trouvent sur des sols ou des expositions peu recherchés et que les pare-feux sont faciles à faire.

D'un autre côté, la conservation des jachères de 5 ans et plus restant sur les pentes est contradictoire avec les 3e et 4e principes tanala de gestion des terres, et réduit fortement l'espace disponible. Les gens n'approuvent pas cette mesure qui crée des effets pervers (réduire la jachère à 2 ans interdit le riz pluvial, et encourage l'érosion).

Finalement, la politique de conservation communautaire dans le but de fournir des « services environnementaux » ou « de la biodiversité » apparaît seulement partiellement cohérente avec le système local de gestion basé sur les savoirs locaux. D'un autre côté, ces derniers sont partiellement obsolètes quand la population dépasse un seuil de densité. Des pratiques introduites auront de meilleures chances d'adoption si elles sont compatibles avec les savoirs locaux, mais *un nouveau savoir adapté aux nouvelles conditions de population est aussi attendu. La croissance démographique, la pauvreté, et les restrictions foncières suite à la conservation peuvent, par manque de connaissance d'alternatives, conduire les paysans à mettre en oeuvre des techniques qu'ils savent être dommageables pour leur environnement, et encore plus avec le changement climatique*¹¹.

Bien qu'atteignant ses limites de validité avec les conditions actuelles de population de certains territoires, le savoir des Tanala semble particulièrement adapté à l'aggravation des conditions climatiques, notamment cycloniques. Aussi il fournit une piste pour les gestionnaires et la recherche agricole. Les principes et pratiques tanala, mettant en exergue *une perturbation minimale du sol et sa couverture par des résidus, la prise en compte des*

¹¹ A Ambodivanana en particulier, les tentatives d'étendre les rizières en terrasses avec des canaux ont conduit à des effondrements. Sur les collines, le labour et le terrassement en vue d'accroître la surface cultivable peut aussi conduire à une érosion massive. (fig 6)

sols et des plantes indicatrices, la culture temporaire ou à couvert permanent, et la gestion du paysage, sont des principes compatibles avec l'agriculture de conservation et l'agroforesterie promues par les centres agronomiques. L'agroforesterie doit cependant être assez diversifiée, pour participer à la fourniture alimentaire, énergétique, et en fertilisants (plantains, oléagineux, légumineuses) (Nambena, 2004).

Dans le but de faire face non seulement au changement climatique mais aussi à la surpopulation, on attendrait donc un renforcement de la gestion forestière communautaire, justifiée et éventuellement financée par des services environnementaux locaux, régionaux et globaux, jointe à un *tavy* maintenu mais amélioré autant que possible (rendement et limitation du feu), à une intensification du riz de bas-fonds, et à la diversification des moyens de subsistance (nouveaux produits et activités).

Remerciements

Cette recherche a été conduite à travers les programmes GEREM (CNRE-IRD) et SERENA (IRD-CIRAD-CEMAGREF). Il a bénéficié d'une aide de l'Agence Nationale de la Recherche (programme SYSTERRA). Il a été réalisé par l'UMR GRED (IRD-Université Montpellier 3).

Références

- Adger W.N., 2006.** Vulnerability. *Global Environmental Change* 16 : 268–281
- Alizany N., Albrecht A., Rabeharisoa L., Ramanantsialonina S., Androrazaka V., 2010.** Vulnérabilité des rizières entourant le village d'Amparihimpony (Com. Ambatosorotra, Rég. Alaotra-Mangoro) vis-à-vis du retard de la première pluie et des poches de sécheresse, projet ACCA Madagascar, CRDI-ESSA-LRI-IRD, 37 p.
- Bailly, C., Benoit de Cognac, Malvos, C., Ningre J.M, Sarrailh J. M., 1976.** Etude de l'influence du couvert naturel et de ses modifications à Madagascar. Expérimentation en bassins versants élémentaires. Cahiers scientifiques. *Revue Bois et forêts des tropiques*, n°4, Nogent sur Marne, CTFT, 114 p.
- Battistini R., 1965.** Notes de reconnaissance sur quelques types de paysages agraires traditionnels du Sud et du Sud-Est de Madagascar. In *Madagascar, Revue de Géographie*, 6, jan-juin 1965: 115
- Blanc-Pamard C., Milleville P., 1985.** Pratiques paysannes, perception du milieu et système agraire, In "A travers champs Agronomes et Géographes". Paris, Orstom: 101-138.
- Blanc-Pamard C., Rakoto-Ramiantsoa H., 2006.** Les pratiques paysannes de gestion de l'érosion sur les Hautes Terres Centrales. In: Actes des journées scientifiques régionales du réseau Erosion et GCES, Antananarivo, AUF:168- 178.
- Brand J., 1997.** Impact des cyclones, *Cahier Terre Tany* n°6, Antananarivo-Berne, FOFIFA – GDE / GIUB: 19 – 33
- Brand J., Rakotovo W., 1997.** Dégradation des sols, *Cahier Terre Tany* n°6, Antananarivo-Berne, FOFIFA – GDE / GIUB: 19 – 33
- Brown, C.W., Keeling C.D., 1965.** The concentration of atmospheric carbon dioxide in Antarctica. *Journal of geophysical research*, 70, 24 : 6077-6085.
- Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K, Kwon W.-T., Laprise R., Rueda V.M., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A. and Whetton P., 2007.** Regional Climate Projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- CRDI, 2008.** Rapport annuel 2007-2008 du programme ACCA. Renforcer les capacités d'adaptation aux changements climatiques en Afrique. 37 p
- Daily, G.C. (ed.), 1997.** *Nature's services : societal dependence on natural ecosystems*. Washington D.C., Island Press.
- Delenne M., Pelletier F., Bied-Charreton M., Bonvallot J., Dandoy G., Hugot B., Peltre P., Pomart E., Portais M., Raison J.P., Randrianarisoa J., Galice P., 1980.** Conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar: thème 1: potentiel des unités physiques »: feuille Sud. Paris, ORSTOM.
- Fairhead J., Leach M., 1998.** *Reframing Deforestation, Global Analyses and Local Realities; Studies in West Africa*. Routledge, London.
- FAO, 2006.** "World reference base for soil resources 2006". *World soil resources reports* 103, 128p + annexes.
- Forsyth, T., 2003.** "Science, myth and knowledge : testing Himalayan environmental degradation in Thailand". *Geoforum*, 27, 3 : 375-392.

- Friedberg C., 1992.** « Représentations, classifications: comment l'homme pense ses rapports au milieu naturel » In: Jollivet M (ed.) Sciences de la nature, sciences de la société. Les passeurs de frontières: 357-391
- Green G.M., Sussman R.W., 1990.** "Deforestation history of the Eastern Rainforest of Madagascar from satellite Images". *Science* 248: 212 – 215.
- Hannah L., Dave R., Lowry P.P., Andelman S., Andrianarisata M., Andriamaro L., Cameron A., Hijmans R., Kremen C., MacKinnon J., Randrianasolo H.H, Andriambololonera S., Razafimpahanana A., Randriamahazo H., Randrianarisoa J., Razafinjatovo P., Raxworthy C., Schatz G.E., Tadross M., Wilme L., 2008.** Climate change adaptation for conservation in Madagascar. *Biol. Lett.* 4 : 590–594
- Hewitson B.C., Crane R.G., 2006.** Consensus between GCM climate change projections with empirical downscaling: precipitation downscaling over South Africa, *Int. J. Climatol.* 26 : 1315–1337.
- IPCC, 2001.** Climate Change. Third assessment. Synthesis report.
- IPCC, 2007.** Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kottak C.P., 1971.** Cultural adaptation, kinship, and descent in Madagascar". *Southwestern Journal of Anthropology*, 27, 2: 129-147.
- Le Bourdier F. 1974.** Hommes et paysage du riz à Madagascar, Antananarivo, FTM, 468 p.
- Linton R., 1933.** The Tanala, a hill tribe of Madagascar, Chicago, Field Museum of Natural History, bull 317, Anthropol. Series, vol. 22.
- Malvos C., Sarraïlh J.M., Bailly C., Rakotomanana J.L., 1976.** « Etude de la susceptibilité à l'érosion des sols de Madagascar. Expérimentations en parcelles élémentaires ». Antananarivo, CTFT, Centre national de la recherche appliquée au développement rural. 37 p.
- MEA, 2005.** *Ecosystems and Human Well-being. Synthesis*, Millennium Ecosystem Assessment, New York, Island Press.
- Milleville, P., 1987.** Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, n°16: 3-6
- Mitchell, T. D., Carter T.R., Jones P.D., Hulme M. and New M., 2004.** A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Norwich, UK, Tyndall centre for climate change research.
- Mortimer M., Adams W., 2001.** Farmer adaptation, change, and "crisis" in the Sahel. *Global Environmental Change* 11:49-57
- Nambena J., 2004.** Analyse de la subsistance paysanne dans un système de production en crise et identification participative de stratégies durables d'adaptation. Cas de Beforona, versant oriental de Madagascar, Thèse. Université Heidelberg, 236 p.
- Olsson L., Eklundh L., Ardo J., 2005.** A recent greening of the Sahel-trends, patterns and potential causes *Journal of Arid Environments* 63 : 556–566
- Pfund J.L., 2000.** Culture sur brûlis et gestion des ressources naturelles: Evolution et perspectives de 3 terroirs ruraux du versant Est de Madagascar. Thèse de doctorat en Sciences Naturelles, Ecole polytechnique de Zurich et de Lausanne, 262 p.
- Rabearimanana L., 1988.** Le paysan de l'Est de Madagascar. Du tavy à la riziculture irriguée, une mutation tardive. *Omalv sy Anio*, 27: 75-91.
- Rabefitia Z., Randriamarolaza L.Y., Rakotondrafara M.L., Tadross M., Ki Yip, Z., 2008.** Le changement climatologique à Madagascar. Direction Générale de la Météorologie, 32 p.
- Raharinjanahary H., Alizany N., Ranaivonasy J., Rakotrondravelo J.C., Rabarijaona R., Rabeharisoa L., Ramparany M., Tiani A.M., 2010.** Recherche-action participative et dynamisme des agriculteurs face aux changements climatiques: cas de la région Analanjirofo (Est de Madagascar), CRDI-ESSA-LRI-IRD, 32p.
- Rakotonirina A., 2006.** Diagnostic du risque érosif en pays Tanala: Cas des villages d'Ambalavero et d'Ambodivanana (Commune rurale de Tolongoïna - Fianarantsoa). Mémoire de fin d'études, ESSA, Université d'Antananarivo, 91p. + annexes.
- Rakoto-Ramiantsoa H., 1995.** « Chair de la terre, oeil de l'eau. Paysanneries et recompositions de campagne en Imerina (Madagascar) », Paris, IRD, Coll. A travers champs.
- Rakotoson D.J., Rakotonirina L.A., Serpantié G., 2010.** Mobilizing farmers' knowledge of the soil. In: Landa E.R. (ed.), Feller Christian (ed.), Descola P. (préf.) Soil and culture. Dordrecht: Springer, p. 287-309.
- Randriamalala R.J., Serpantié G., Carrière S.M., 2007.** Influence des pratiques culturelles et du milieu sur la diversité des jachères d'origine forestière (Hautes Terres, Madagascar) ». *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 62: 169-189.
- Raunet M., 1997.** Bilan et évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar: solutions techniques de lutte contre l'érosion, volume III. Antananarivo, CIRAD – FOFIFA – ANAE, 460 p, CD-ROM 2005.
- Riquier, J., 1968.** Carte pédologique de Madagascar au 1/1000000, Antananarivo, Bondy, ORSTOM.

- Rossi G., 1979.** L'érosion à Madagascar: l'importance des facteurs humains,. *Cahiers d'Outre mer*, 128, 355-370.
- Rossi G., 1998.** « Une relecture de l'érosion en milieu tropical ». *Annales de Géographie*, 107, 601 : 318-329.
- Ruthenberg H., 1971.** (3ème Ed.1980), "Farming systems in the tropics". Oxford, Oxford Science Publications, 424 p.
- Saralea J., 2010.** Les filières agricoles victimes du réchauffement planétaire *L'Express de Madagascar* 12-29-N° 4804
- Scoones I, 1998.** Sustainable Rural Livelihoods: A Framework for Analysis IDS Working Paper 72, Institute of Development Studies
- Serpantié G., Rakotonirina A., Carrière S., Rakotondramanana M. & Ramarorazana B, 2007b.** « Origines climatique et humaine des couloirs forestiers malgaches ». In G. Serpantié, Rasolofoharinoro, S. Carrière (eds) Transitions agraires, dynamique écologiques et conservation. Le « corridor » Ranomafana-Andringitra Antananarivo, CITE-IRD: 27-39
- Serpantié G., Ramiarantsoa M., Rakotondramanana M., Toillier A., 2007c.** Intensifier la riziculture autour du corridor Ranomafana-Andringitra: L'offre technique est-elle adaptée à la diversité des situations et des ménages ? » In G. Serpantié, Rasolofoharinoro, S. Carrière (eds) Transitions agraires, dynamiques écologiques et conservation. Le « corridor » Ranomafana-Andringitra, Antananarivo, CITE-IRD: 213-224
- Serpantié G., Rasolofoharinoro, Carrière S., (Eds sc.) 2007a.** Transitions agraires, dynamiques écologiques et conservation. Le « corridor » Ranomafana Andringitra, Madagascar. Actes du séminaire GEREM, Antananarivo, 9-10 novembre 2006. IRD-CITE Ed. Paris, Antananarivo, 278p. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010042175.pdf
- Tadross M., Randriamarolaza L., Rabefitia Z., Zheng K.Y., 2008.** Climate change in Madagascar; recent past and future, Washington, DC, World Bank. pp.18.
- USAID, 2008.** Impacts of climate change on rural livelihoods in Madagascar and the potential for adaptation. International Resources Group., 67p
- Wells N.A., Andriamihaja B.R., 1997.** Extreme gully erosion in Madagascar and its natural and anthropogenic causes" In: Goodman SM & Patterson BD (eds) Natural change and human impact in Madagascar, Washington, London, Smithsonian Institution Press: 44 -74.
- Wilmé L., Goodman S.M., Ganzhorn, J.U., 2006.** Biogeographic evolution of Madagascar's microendemic biota. *Science* 312 : 1063–1065.
- Wright, P., 2007.** Considering climate change effects in lemur ecology and conservation. In Lemurs, ecology and adaptation (eds L. Gould & M. Sauther), pp.385–401. New York, NY: Springer.

Effets des systèmes de cultures bananières sur un sol brun tropical volcanique sous des simulations de pluies cycloniques en Martinique.

*Bounmanh Benoît KHAMSOUK¹, Eric ROOSE², Eric BLANCHART², Marc DOREL³,
Luc RANGON⁴, Jean-José BANIDOL⁵*

¹ Agronome production végétale, rue Kong Deng wombo, BP 1478, Ouagadougou (Burkina Faso), e-mail : benoit.kamsouk@gmail.com

² IRD Montpellier, Avenue Agropolis, BP 64501, 34 000 Montpellier (France), e-mail : roose@mpl.ird.fr ; blanchart@mpl.ird.fr

³ CIRAD-FLHOR, Neuf châteaux, 97 130 Capesterre Belle Eau (Guadeloupe), e-mail : marc.dorel@cirad.fr

⁴ IRD Martinique – Caraïbes (PRAM), Petit Morne, 97 232 Lamentin (Martinique), e-mail : luc.rangon@ird.fr

⁵ CIRAD-FHLOR (PRAM), Petit Morne, 97 232 Lamentin (Martinique), e-mail : jean-jose.banidol@cirad.fr

RESUME

Principale production végétale sur 9 000 ha en Martinique, la culture bananière d'exportation 'Cavendish' peut présenter un risque de dégradation pour l'environnement (érosion, pollutions aquatiques) en raison de ses pratiques culturales, du relief accidenté des zones de production et de fortes pluies. Récemment, une étude en parcelles expérimentales de 100-200 m² sur un sol brun tropical volcanique a démontré que les systèmes intensifs à gestion de paillis protégeaient le sol de l'érosion hydrique à l'opposé de la culture traditionnelle d'ananas billonné, entrant en rotation avec les bananeraies. Afin d'approfondir ces résultats, une campagne de simulations de pluies cycloniques (19 tests sur des micro-parcelles de 1m² arrosées par une pluie artificielle d'intensité de 100 mm.h⁻¹ durant trois heures) a donc été réalisée *in situ* avec pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement hydrique du sol, l'efficacité du paillage et de rechercher des liens hydrodynamiques remarquables entre les parcelles expérimentales de 200 m² sous pluviosité naturelle et les micro-parcelles 1m² sous simulations de pluies.

Les résultats des pluies simulées sont bien conformes aux mesures observées en parcelles d'érosion sous pluies naturelles, notamment à travers les hydrogrammes obtenus sur les différents traitements testés et à travers les paramètres de ruissellement. Le sol brun tropical volcanique présente une forte capacité d'infiltration et même après trois heures de simulation de pluie cyclonique, la saturation du sol superficielle n'est jamais atteinte (Hp<58%). Le paillage protège efficacement le sol du ruissellement (et de l'érosion hydrique) en accentuant l'infiltration totale de la pluie artificielle déversée, même après 180 mm de pluie en trois heures car celui-ci couvre bien la surface du sol et augmente la rugosité superficielle. A l'inverse, les billons concentrent un ruissellement abondant après 40 minutes d'application. D'autres résultats remarquables sont soulignés : (i) – une grande stabilité des agrégats sur les sols nus où la désagrégation n'est que partielle avec des mottes émoussées reposant sur une croûte inférieure formée à partir de particules fines désagrégées ; (ii) - un changement de processus hydrodynamique sur le traitement « sol nu » avec une diminution du ruissellement sur les plus fortes pentes (25 et 40%), provoquée par le maintien de l'ouverture des macro-pores superficielles due à l'énergie décapante de la lame d'eau. Les résultats des pluies simulées sur 1m² ont donc bien permis de préciser le fonctionnement hydrique du sol brun tropical volcanique et de définir le rôle remarquable du paillage dans les systèmes de cultures intensives contre le ruissellement (et l'érosion hydrique).

Mots clés : Martinique, simulations de pluies cycloniques, culture bananière, ananas, systèmes intensifs, sol brun tropical volcanique, parcelles d'érosion, paramètres de ruissellement/infiltration.

1 - INTRODUCTION

En Martinique, île volcanique des Antilles françaises (14-16°N ; 60-62°W ; 1080 km²), la production intensive de banane dessert « Cavendish » qui est un atout économique essentiel, occupe près de 9 000 ha des terres agricoles.

En raison des pratiques agricoles (grande consommation d'intrants) sur un relief montagneux accidenté soumis à de forte pluviosité 2000-5000 mm/an (tempêtes tropicales), les systèmes de cultures bananières peut présenter des risques de dégradation pour l'environnement.

De 1998 à 2001, une étude en parcelles expérimentales sur un sol brun tropical volcanique ou « sol brun rouille à halloysite » selon Colmet-Daage et Lagache (1965) a montré qu'en matière de dégradation du sol sur un versant de pente moyenne 10%, les systèmes intensifs bananiers à gestion de paillis ou *mulch* protégeaient efficacement le sol de l'érosion hydrique (E=0,6 t/ha/an) à l'inverse de la culture d'ananas billonné (E=17 t/ha/an), en rotation avec les bananeraies ou du sol dénudé (E=85 t/ha/an) (Khamsouk et Roose, 2003).

Afin d'approfondir les résultats obtenus en parcelles expérimentales sous pluies naturelles et de déterminer les facteurs explicatifs, des tests de simulations de pluies cycloniques (intensité 100 mm/h) ont été appliqués sur des micro-parcelles de 1m² à l'intérieur des parcelles d'essais cultivés de 200 m² (Khamsouk et al., 2006).

Cet article va présenter les résultats obtenus sous les simulations de pluies cycloniques, notamment l'influence du paillis ou mulch en surface du sol sur le comportement hydrique du sol testé.

2 – SITE, MATERIELS ET METHODES

2.1 – Le site d'étude

Le site d'étude est la station expérimentale Rivière Lézarde (110 ha), situé en région centrale de l'île avec une pluviosité de 2000-2500 mm/an et caractérisé par un sol brun tropical volcanique cultivé en systèmes bananiers. Six parcelles d'érosion (200 m²) sur différentes pentes ont été installées avec quatre traitements dont les caractéristiques mesurées durant deux années sont récapitulées dans le tableau 1 :

- les **sols nus Nu11, Nu25 et Nu40** (sol dénudé, travaillé sur 20 cm) : traitement standard ou témoin sur trois pentes 11-25-40%, permettant de déterminer le comportement du sol sous les averses érosives (Wischmeier et Smith, 1978) ;
- la **canne à sucre avec paillage de résidus organique Ca10** (13 lignes de cannes) : parcelle installée sur une pente de 10%, proposée en rotation avec la bananeraie pour réduire les risques d'érosion et assainir le sol des nématodes parasites ;
- la **bananeraie établie** avec paillis en bandes perpendiculaires à la pente **Ba11** (36 pieds) : traitement situé sur une pente à 11%, préconisée pour lutter contre l'érosion ;
- L'**ananas mécanisé et billonné An7** (sept billons ; 850 plants) : système intensif traditionnel en rotation avec la bananeraie et situé sur une pente de 7% - *labour profond à 60 cm avec enfouissement des résidus et billonnage en descendant la pente.*

Tableau 1. Caractéristiques mesurées des six parcelles d'érosion installées sur le sol brun tropical volcanique (sol brun rouille à halloysite).

Traitements		Sols nus			Banancraie établie	Canne à sucre paillée	Ananas méca+billonné
Parcelles		Nu11	Nu25	Nu40	Ba11	Ca10	An7
	Pente (%)	11%	25%	40%	11%	10%	7%
Texture	Argile (%)	73,95	72,55	62,05	68,85	66,45	68,05
	Limon (%)	12,25	6,8	17,55	14,35	13,6	11,15
	Sable (%)	11,95	20,34	18,83	15,11	17,22	20,47
Matière Organique	C org (%)	1,34	1,85	1,71	1,99	1,62	1,57
	MO (%)	2,31	3,19	2,94	3,43	2,79	2,71
Ruissellement	Cram* (%)	7,1	5,2	4,3	2,8	0,5	11,4
	Crmax** (%)	45	32	28	27	6	51
Erosion	E (t/ha/an)	85,8	127,5	147,4	0,5	0,1	17,2

* Cram : coefficient de ruissellement annuel ou rapport annuel de la lame d'eau ruisselée sur la pluviosité

** Crmax : coefficient de ruissellement maximal mesuré sous l'épisode pluvial correspondant

Sur ces traitements, 19 simulations de pluies cycloniques (intensité : 100 mm.h⁻¹) ont été appliquées sur des micro-parcelles (1m²) durant trois heures. Les mesures de ruissellement à l'exutoire des micro-parcelles permettent de déterminer les paramètres hydrodynamiques, bien représentatifs du comportement des surfaces de sol (Lafforgue, 1977 ; Collinet et Valentin, 1979) : la **pluie d'imbibition Pi** (mm) ou hauteur d'eau de pluie minimale et nécessaire pour provoquer le ruissellement ; la **lame ruisselée cumulée LR60'** et **LR180'** (mm) correspondant à la hauteur du ruissellement après 60 et 180 minutes de simulation ; le **coefficient de ruissellement Kr60'** et **Kr180'** (%) ou rapport des hauteurs d'eau ruissellement/pluie après 60 et 180 minutes ; le **palier de ruissellement Rx** (mm.h⁻¹) ou intensité maximale et constante d'écoulement d'eau durant le régime permanent du ruissellement. A noter que tous ces paramètres se retrouvent également dans les **hydrogrammes** ou courbes de ruissellement/infiltration durant la durée d'application des pluies artificielles.

A chaque simulation, les conditions initiales et finales des micro-parcelles sont déterminées par cinq mesures : la **pente p** (%) à l'aide d'un mètre, d'une règle et d'un niveau à bulle ; les **humidités pondérales initiale Hpi** (%) et **finale Hpf** (%) par prélèvement du sol sur 10 cm ; la **rugosité de surface Rg** par la méthode de la chaînette (rapport de longueurs chaîne/mètre linéaire) ; la **densité apparente** du sol **Dapp** (g.cm⁻³) avec les cylindres (1000 cm³) ; l'**état de surface du sol** comprenant : les surfaces ouvertes **SO** (%) ou mottes ; les surfaces couvertes **SC** (%) regroupant la litière et les cailloux protégeant le sol ; les surfaces lisses et fermées **SF** (%) ou croûte.

Afin de déterminer des relations remarquables et facteurs explicatifs sur les résultats, des corrélations binaires ont été appliquées sur les résultats : leurs coefficients sont dits « très significatifs » au seuil de 1%, « significatif » au seuil de 5% et « non significatifs » dans les autres cas.

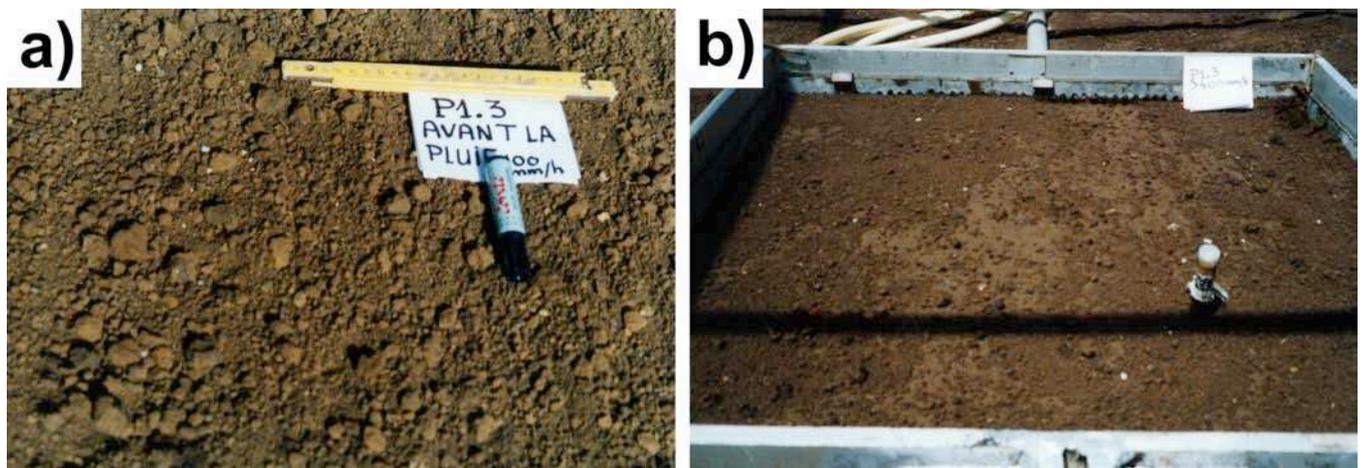


Photo 1 : évolution de l'état de surface du « sol nu » (Nu11) avant (a) puis après (b) la pluie cyclonique simulée.

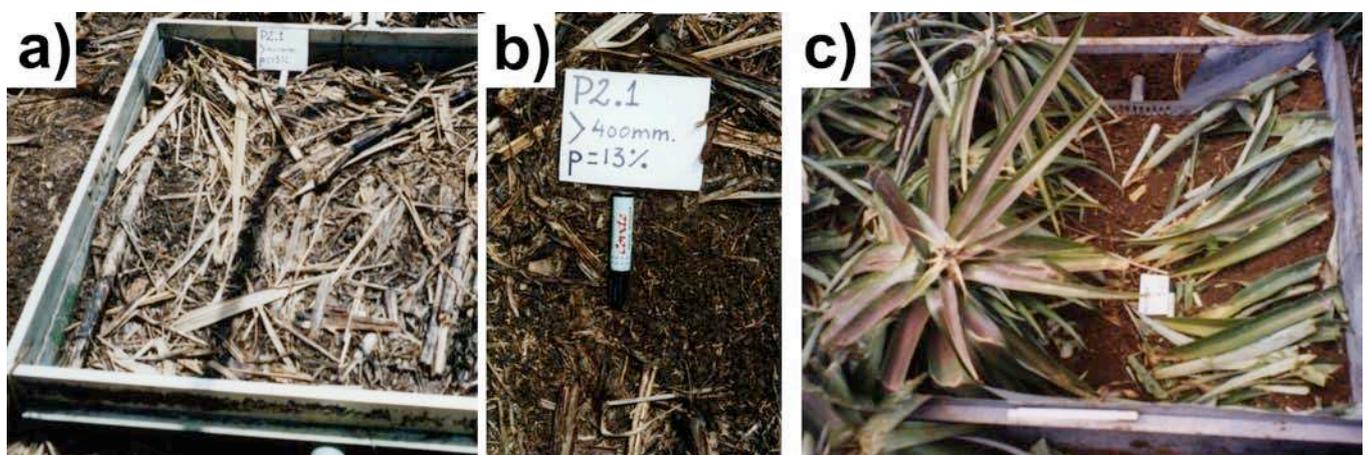


Photo 2 : autres état de surface des traitements « canne à sucre paillé » Ca10 avant et après la simulation de pluie cyclonique (a et b) et « ananas mécanisé et billonné an7 avant la pluie artificielle (c).

Tableau 2. Conditions initiales et finales des 19 micro-parcelles (1 m²) testées sous pluies artificielles.

Traitement	Parcelle	Moyenne écart-type	Paramètres d'états du sol					Etat de surfaces sur 1 m ²		
			Pente (%)	Hpi (%)	Hpf (%)	Dapp (g/cm ³)	Rg	SO (%)	SC (%)	SF (%)
Sol nu	Nu11	Moy	12,33	18,93	49,23	0,78	1,06	98,33	1,67	0
		écart-type	0,003	1,406	5,606	0,019	0,006	1,443	1,443	ND
	Nu25	Moy	24,58	18,48	45,79	0,83	1,04	91,84	8,16	0
		écart-type	0,005	3,176	2,316	0,004	0,007	1,565	1,565	ND
	Nu40	Moy	36,67	34,56	48,55	0,79	1,05	92,47	7,53	0
		écart-type	0,006	0,368	0,427	0,008	0,008	2,894	2,894	ND
Bananaie établie Interligne paillée	Ba11- rés	Moy	16,80	18,94	48,53	0,78	1,22	1,23	96,34	2,44
		écart-type	0,007	2,950	1,004	0,007	0,025	0,870	2,579	3,449
Bananaie établie Interligne nu	Ba11- nu	Moy	13,83	24,67	57,77	0,84	1,03	48,60	16,97	22,60
		écart-type	4,368	3,632	2,461	0,002	0,020	6,929	0,295	16,973
Canne à sucre paillée	Ca10- rés	Moy	12,25	19,64	56,27	0,80	1,17	2,28	97,72	0
		écart-type	0,011	2,275	8,936	0,000	0,005	0,399	0,399	ND
Ananas mécanisé et billonné	An7	Moy	9,17	18,77	56,62	0,87	1,17	4,67	82,01	13,32
		écart-type	0,012	2,559	2,353	0,005	0,000	2,702	4,695	3,653

ND : non déterminé

III – RESULTATS ET DISCUSSION

1. Conditions initiales et finales des micro-parcelles

Ces résultats sont récapitulés dans le tableau 2 : au départ, le sol argileux est sec et peu dense. Les états de surface reflètent bien les caractéristiques des traitements testés : un fort taux de surface couverte sur les essais cultivés paillés (bananeraie et canne à sucre) et un fort taux de surface ouverte ou dénudée sur les sols nus (photos 1 et 2). Après l'arrêt des pluies cycloniques, la saturation du sol n'est jamais atteinte ($H_{pf} < 58\%$) : la forte capacité d'infiltration du sol brun tropical volcanique est remarquable et elle s'expliquerait par la grande stabilité des agrégats soumis à l'eau, résultats déjà démontrés lors d'un test de stabilité structurale en laboratoire (Khamsouk *et al.*, 1999). D'ailleurs, sur les trois sols nus, la réorganisation superficielle du sol après les pluies artificielles est différent du comportement battant des sols sableux et limoneux : pas d'encroûtement lisse en surface et présence d'agrégats émoussés reposant sur une croûte interne et continue formée par le dépôt des particules fines désagrégées (photo 1b).

2. Hydrogrammes et paramètres hydrodynamiques des pluies simulées

Les hydrogrammes de ruissellement reflètent le comportement spécifique des traitements testés, avec la distinction entre parcelle très infiltrant (systèmes paillés) et celles très ruisselant (figure 1).

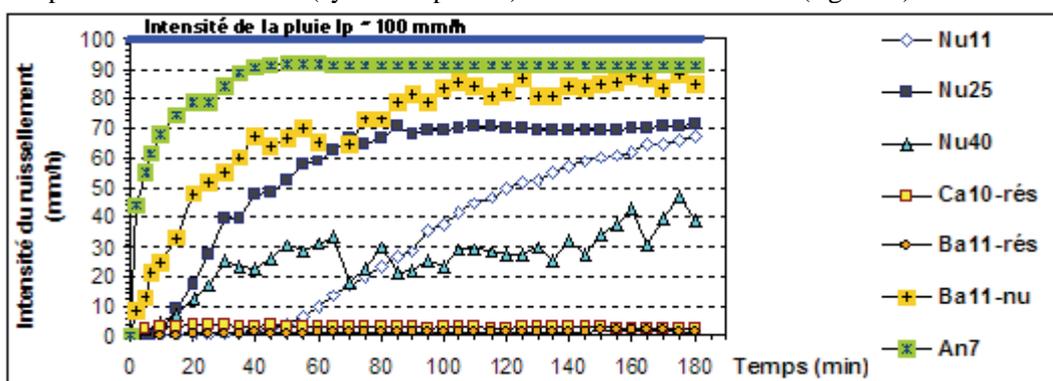


Figure 1. Hydrogrammes moyens du ruissellement issus des traitements testés sous pluies simulées.

Ces comportements sous pluies cycloniques simulées sont bien conformes aux résultats de ruissellement observés en parcelles d'érosion, à savoir :

- l'absence de perte en terre annuelle sur les traitements cultivés paillés bananeraie et canne à sucre (photos 2a et 2b),
- une érosion hydrique favorisée par l'effet des sillons concentrant rapidement le ruissellement, même sur pente faible 7% (ananas mécanisé et billonné (photo 2c)),
- un changement de processus hydrodynamique et d'érosion hydrique du sol dénudé quand la pente dépasse 25%, c'est-à-dire une érosion hydrique linéaire pour des pentes <25% à une érosion hydrique par coulée boueuse sur les pentes à 40% (Khamsouk et Roose, 2003).

Tableau 3. Paramètres hydrodynamiques des 19 simulations de pluies appliquées sur les 6 traitements.

Traitement	Parcelle	Moyenne écart-type	Pluie Ip (mm/h)	Ruissellement							Perte en sédiments	
				Pi (mm)	LR60' (mm)	LR180' (mm)	Kr60' (%)	Kr180' (%)	Rx (mm/h)	Fn (mm/h)	PT60' (t/ha)	PT180' (t/ha)
Sol nu	Nu11	Moy	100,22	66,67	7,76	161,12	7,76	53,71	74,34	25,66	0,04	2,74
		écart-type	0,38	16,67	8,41	42,27	8,41	14,09	9,57	9,57	0,02	1,97
	Nu25	Moy	100,74	18,48	58,95	212,40	58,50	70,24	69,48	31,25	1,46	6,05
		écart-type	1,59	6,10	2,99	14,44	2,86	4,18	7,99	6,98	0,31	1,02
	Nu40	Moy	99,07	14,29	30,78	173,61	30,87	58,50	48,28	50,78	1,10	4,02
		écart-type	2,19	2,34	14,10	32,20	13,66	9,12	10,36	8,31	0,40	0,16
Bananeraie établie Interligne paillée	Ba11-rés	Moy	101,21	100,00	1,00	4,50	0,97	1,47	0,00	100,00	0,00	0,00
		écart-type	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Bananeraie établie Interligne nu	Ba11-nu	Moy	96,22	7,50	61,69	254,16	64,39	88,21	82,61	15,60	1,75	8,24
		écart-type	2,70	1,07	11,95	18,87	14,08	8,60	10,15	11,46	1,94	8,18
Canne à sucre paillée	Ca10-rés	Moy	100,06	100,00	3,45	0,00	3,38	2,78	0,00	100,00	0,00	0,02
		écart-type	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ananas mécanisé et billonné	An7	Moy	101,08	4,23	91,80	272,30	90,76	89,72	90,77	10,32	0,42	1,95
		écart-type	2,47	2,30	9,08	28,22	7,42	7,60	9,42	7,56	0,38	1,09

ND : non déterminé

Au niveau des paramètres hydrodynamiques (tableau 3), les résultats sont également conformes aux mesures réalisées sur les parcelles d'érosion (Khamsouk et Roose, 2003) :

- pas de ruissellement observé sous traitements paillés, très couvert et très rugueux, et une infiltration totale comme dans d'autres études références (Manning *et al.*, 1966 ; Roose, 1977 ; Helming *et al.*, 1998),
- l'effet des sillons concentrant et évacuant le ruissellement, vecteur de la forte érosion et bien souligné dans des études expérimentales sur andosols et ferrisols (Roose et Asseline, 1978 ; El-Swaify *et al.*, 1982 ; Winschester Chromec *et al.*, 1989),
- l'influence négative de la pente sur le ruissellement sur les sols nus où l'infiltration augmente en raison de l'ouverture du sol, provoquée par l'énergie décapante du ruissellement (Heusch, 1971 ; Poesen, 1986 ; Valentin, 1989 ; Roose *et al.*, 1993 ; Janeau *et al.*, 2003 ; Sabir *et al.*, 2004).

Parmi les paramètres de ruissellement, deux principaux (Pi et LR60') sont très représentatifs du comportement hydrique des parcelles testées tandis que d'autres travaux analogues font référence au ruissellement maximal Rx ou l'infiltration permanente Fn, obtenus après 60 minutes de pluies sur des sols sableux tropicaux cultivés ou sur des sols limoneux (Roose et Asseline, 1978 ; Collinet et Valentin, 1979 ; Le Bissonnais *et al.*, 1989).

3. Quelques relations remarquables

Les corrélations significatives établis entre conditions initiales et paramètres hydrodynamiques soulignent bien le rôle très remarquable du paillage (couverture et rugosité au sol) contre le ruissellement ($r^2=-0,538$ pour SC et LR60' ; $r^2=-0,695$ pour Rg et LR60' (Khamsouk et al., 2006)).

Par ailleurs, la corrélation significative entre ruissellements mesurés en parcelles d'érosion 100-200 m² sous pluies naturelles et en micro-parcelles 1 m² sous simulations de pluies cycloniques confirme bien la similitude du fonctionnement hydrique du sol brun tropical cultivé sur les deux surfaces différentes ($r^2=0,794$ pour Cram et Rx). Cela montre aussi la conformité exceptionnelle des simulations de pluies cycloniques avec la pluviosité naturelle du site au niveau du comportement hydrique des traitements testés (Khamsouk et al., 2006).

Concernant les paramètres de perte en terre, les résultats obtenus ne permettent pas de dresser des relations remarquables car les micro-parcelles 1 m² utilisés pour les simulations de pluies ne présentent pas d'exutoire aval lisse, mais perforé et pouvant piéger les sédiments entraînés par le ruissellement (voir photo1b).

IV – CONCLUSION

Les résultats des pluies cycloniques simulées sont non seulement conformes à ceux mesurés sous pluies naturelles, mais aussi et surtout ils ont permis de préciser le fonctionnement hydrique du sol brun tropical cultivé (sol brun rouille à halloysite) et de déterminer les facteurs explicatifs intervenant dans l'installation du ruissellement, principal vecteur de l'érosion hydrique du sol en Martinique. Dans les productions végétales intensives (bananeraie et canne à sucre) sous climat tropical humide avec des tempêtes cycloniques, limiter le ruissellement par le paillage organique bien couvrant et rugueux reste donc une bonne pratique agricole de lutte antiérosive, combinant à la fois la conservation du sol et la disponibilité des résidus culturales.

BIBLIOGRAPHIE

- Asseline J., Valentin C., 1978 – Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion., *Cahiers ORSTOM Hydrologie*, 15, 4 : 321-347.
- Casenave C., Valentin C., 1989 – Les états de surfaces de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Ed. ORSTOM, Paris, 229 pages.
- Colmet-Daage F. et Lagache P., 1965 – Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises. *Cahiers de l'ORSTOM Pédologie* : 91-121.
- El-Swaify S.A., Dangler E.W, Armstrong C.L., 1982 – Soil erosion by water in the tropics., HITAGR, Research extension series n°24, Hawaii, 173 pages.
- Helming K., Römken M.J.M., Prasad S.N., 1998 – Surface roughness related processes of runoff and soil loss : a flume study., *Soil Sciences Society of American Journal* 62 : 243-250.
- Heusch B., 1971 – Estimation et contrôle de l'érosion hydrique. *Société des Sciences Naturelles et Physiques, Maroc*, C.R. 37 : 41-54.
- Khamsouk B., Roose E., Dorel M., Blanchart E., 1999 – Effets des systèmes de culture bananière sur la stabilité structurale et l'érosion d'un sol brun rouille à halloysite en Martinique., *Bulletin Réseau Erosion* n°19, 1 : 206-215.

- Khamsouk B., Roose E., 2003** – Ruissellement et érosion d'un sol volcanique tropical cultivé en systèmes intensifs en Martinique, *Cahier Agricultures* n°12 : 145-151.
- Khamsouk B., Roose E., Blanchart E., Dorel M., Rangon L., Louri J., Banidol J.J., 2006** – Comportement hydrique d'un nitisol cultivé sous simulations de pluies extrêmes. Cas des systèmes intensifs de production bananière en Martinique., ISCO Marrakech 2006, 4 pages.
- Janeau J.L., Bricquet J.P., Planchon O., Valentin C., 2003** – Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand, *European Journal of Soil Science*, 54 : 543-553.
- Lafforgue A., 1977** – Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Applications à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées., *Cahiers ORSTOM Hydrologie*, 14, 4 : 299-344.
- Le Bissonnais Y., Bruand A., Jamagne M., 1989** – Etude expérimentale sous pluie simulée de la formation des croûtes superficielles. Apports à la notion d'érodibilité des sols. *Cahiers ORSTOM Pédologie* 25, 1-2 : 31-40.
- Mannering J.V., Meyer L.D., Johnson C.B., 1966** – Infiltration and erosion as affected by minimum tillage for corn. *Soil Sciences, Society of America Proc.* 30, 1 : 101-105.
- Poesen J., 1986** – Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments., in *Assessment of soil surface sealing and crusting*, Ed. F. Callebaut, D. Gabriels and M. De Boodt, Flanders Research Centre for Soil Erosion and Soil Conservation, Belgium, 354-362.
- Roose E., Asseline J., 1978** – Mesures des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé : II – Les charges solides et solubles des eaux de ruissellement sur sol nu et diverses cultures d'ananas., *Cahiers ORSTOM série Pédologie*, 16, 1 : 43-72.
- Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M., Morsli B., 1993** – Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et infiltration de la production agricole pour la GCES. Synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion., *Cahiers ORSTOM Pédologie*, 28, 2 : 289-308.
- Sabir M., Barthès B., Roose E., 2004** – Recherche d'indicateurs de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéenne du Rif occidental (Maroc), *Sécheresse*, 15, 1 : 105-110.
- Valentin C., 1989** – Surface crusting, runoff and erosion on steeplands and coarse material., in *The establishment of soil management experiments on sloping lands*, IBSRAM Technologic Notes n°3, Bangkok, 285-312.
- Winstchester Chromec F., El-Swaify S.A., Lo A.K.F., 1989** – Erosion Problems and Research in Hawaii., *Topic in applied resource management*, 1 : 143-174.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978** – Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning., U. S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* n°282, 58 pages.

L'épisode pluviométrique du 15 juin 2010 dans le Var (France) : précipitations, crues et inondations

Claude Martin

UMR 6012 ESPACE, CNRS et Université de Nice - Sophia-Antipolis.
Courriel : claude.martin0156@orange.fr

Résumé.

Le 15 juin 2010, des précipitations très abondantes et intenses ont provoqué des crues violentes et des inondations catastrophiques dans la région de Draguignan et dans la basse plaine de l'Argens. Vingt cinq personnes sont décédées et les dégâts s'élèvent à un milliard d'euros. Certains aménagements (couverture de ruisseaux, ponts) ont aggravé la situation dans les secteurs urbanisés en zones inondables par crues rares ou exceptionnelles. Mais le risque doit être évalué au regard de la probabilité de retour de ce type d'événement.

Mots clés : précipitations, crue, inondation, risque, Var, France.

Abstract.

During the 15th of June 2010, very strong and intensive rains have generated violent floods and catastrophic flooding in the environs of Draguignan and in the low valley of the river Argens. Twenty five persons have died and damages come to one thousand of euros. Certain appointments (covering brooks, bridges) have increased the condition in urban areas located in flooded zones during rare or exceptional flood-events. The risk must be evaluated taking in account the return probability for this type of event.

Keywords: rainfall, flood, flooding, risk, Var, France.

1. Introduction

L'épisode pluviométrique qui a touché le Var le 15 juin 2010, a causé le décès de 25 personnes et se classe ainsi parmi les plus meurtriers en France au cours des dernières décennies. Les précipitations abondantes et intenses du 15 juin ont provoqué, le jour même et le lendemain, des inondations aux effets dévastateurs, dont les dégâts (plusieurs ponts détruits ou endommagés, des routes défoncées, de nombreux locaux d'habitation et professionnels dégradés, des exploitations agricoles dévastées, des troupeaux et des élevages décimés, des centaines de voitures emportées ou submergées...) se chiffrent à un milliard d'euros.

Laissant les investigations coûteuses aux équipes du Retour d'Expérience (REx Var) commandité par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (CETE, 2011), j'ai choisi de m'appuyer largement sur des informations en libre accès sur internet. Je résumerai ici les premiers résultats publiés (Martin, 2010), en leur apportant quelques compléments.

2. Les précipitations

L'épisode est dû à une dépression d'altitude progressant d'ouest en est avant de remonter vers le nord sur la Méditerranée. Les ascendances subies par l'air chaud, humide et instable poussé par la dépression déclenchent alors des pluies orageuses très abondantes sur le continent (Artigue *et al.*, 2010). Ce type de

situation, fréquent dans la partie occidentale de la façade méditerranéenne française, en particulier en Cévennes, est plus rare en Provence. Il se produit généralement en automne (Vaison-la-Romaine, septembre 1992 ; Marseille, septembre 2000), très rarement au printemps (Auribeau-sur-Siagne, juin 1994).

Une grande partie du département du Var, dans le secteur moyen du bassin de l'Argens, a reçu des précipitations supérieures à 200 mm (Fig. 1). Les pluies ont été particulièrement abondantes dans un large secteur autour de Draguignan, la valeur maximale atteignant 461 mm à Lorgues (395 mm selon un poste amateur). Trois sous-bassins importants ont été particulièrement touchés, ceux de la Florièye, du Réal et de la Nartuby. On peut y ajouter les bassins de l'Aille et de l'Endre, mais ces cours d'eau ne traversant aucun village ont causé moins de problèmes.

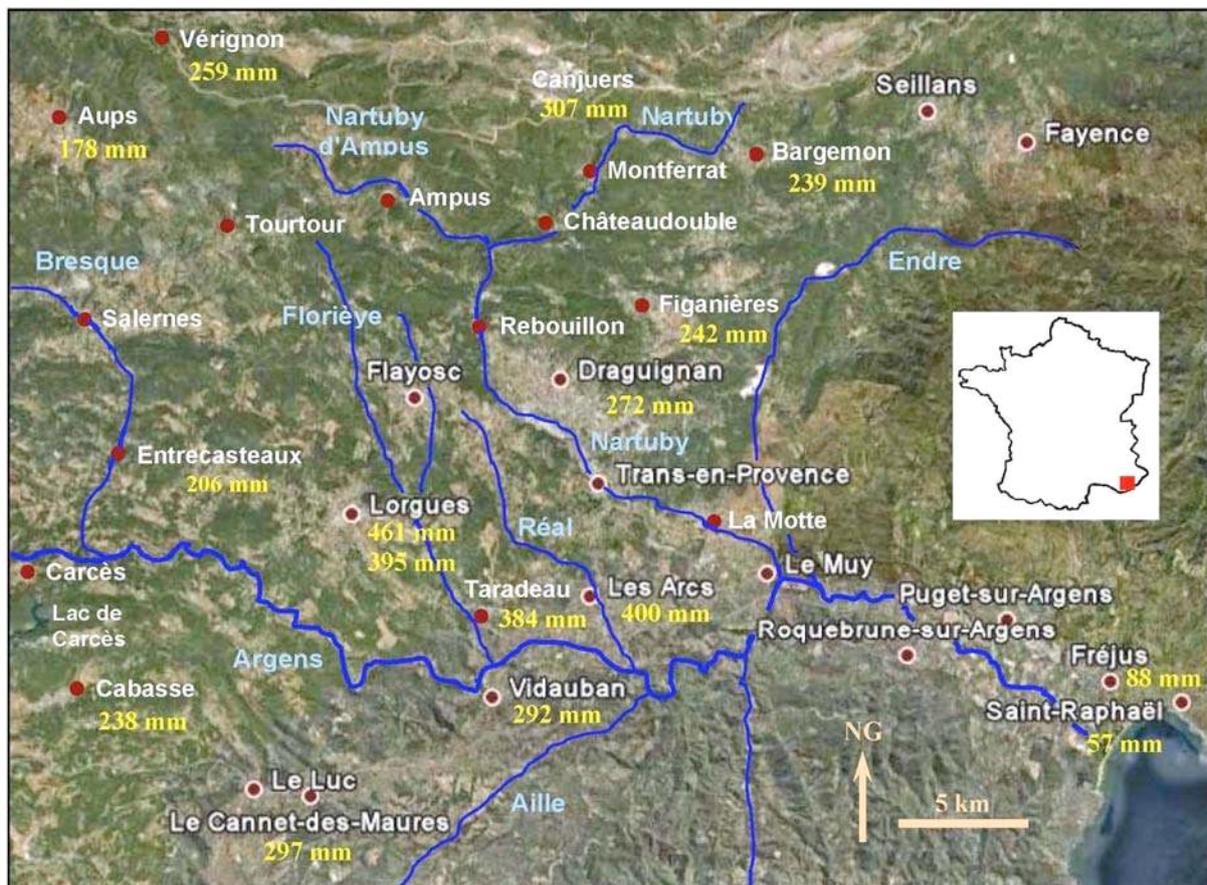


Figure 1 : Localisation du terrain d'étude et précipitations au cours de l'épisode (du 14 juin à 8h00 au 16 juin à 8h00).

Image satellitaire : GOOGLE Earth. Précipitations : Météo-France, CIRAME, observateurs amateurs.

L'essentiel des précipitations est tombé le 15 juin (397 mm aux Arcs, 270 mm à Draguignan, 304 mm à Canjuers... – mesures du 16 juin à 8h00), avec une forte concentration de 11h00 à 19h00 : 338 mm à Taradeau (contre 384 mm pour l'ensemble de l'épisode). Les précipitations du 15 juin sont les plus fortes jamais enregistrées dans le secteur. Les précédents records étaient, par exemple, de 144 mm depuis 1946 au Luc (août 1983), de 164 mm depuis 1934 aux Arcs (octobre 1957) et de 185 mm depuis 1939 à Comps (6 km au nord de Canjuers – en 1957).

De 1958 à 2009 (<http://pluiesextremes.meteo.fr/index.php> – Météo France), le réseau pluviométrique du Var n'avait enregistré que huit valeurs journalières

supérieures à 200 mm : cinq sur la côte ou à proximité immédiate, deux dans l'ouest varois (maximum de 250 mm en janvier 2006) et une à Callas, au sud de Bargemon (207 mm en décembre 1958). Deux seulement de ces valeurs ont été mesurées le même jour (sur le littoral, en octobre 1973).

Pour un poste un peu éloigné, mais néanmoins représentatif, Collobrières, Lang et Lavabre (2007) donnent des valeurs références de 185 mm pour la pluie centennale et 240 mm pour la pluie millennale (loi de Gumbel sur la période 1966-2001). Dans le secteur Draguignan - Lorgues - Les Arcs, les pluies du 15 juin 2010 apparaissent donc bien plus que centennales. Leur caractère exceptionnel serait encore plus marqué en considérant une durée plus courte que 24 heures.

Aux Arcs, les pluies horaires se sont maintenues entre 20 et 50 mm de midi à 22 heures ; à Lorgues, à la station CIRAME (461 mm sur l'épisode), les valeurs horaires maximales ont été enregistrées de 14 à 16 heures : 69 et 79 mm (source : <http://pluiesextremes.meteo.fr/2010-06-15/catastrophe-de-draguignan.html> – Météo France). À Taradeau, l'intensité maximale en 60 minutes (valeur glissante) s'est élevée à 69 mm/h à 14h49 et celle en 120 minutes à 56 mm/h à 15h44 (source : Daniel Siloret, <http://sud-meteo.pagesperso-orange.fr>) (cf. Martin, 2010). Ces valeurs sont élevées, mais moins exceptionnelles (sans doute décennales à centennales) que les précipitations journalières.

Certes, l'épisode s'est produit à un moment de l'année où l'évapotranspiration est déjà forte, mais les conditions hydriques étaient favorables aux écoulements : année 2008-09 très arrosée (1253 mm à Taradeau) et année 2009-10 déjà assez pluvieuse (760 mm depuis le 1^{er} septembre ; 110 mm depuis le 1^{er} mai).

3. Réponses hydrologiques et inondations

Les pluies se sont traduites essentiellement par des crues, responsables d'inondations. Des mouvements de terrain assez importants se sont produits dans les gorges de Châteaudouble, en amont de Rebouillon, où la D955 a été emportée, mais même dans ce cas la déstabilisation du versant doit beaucoup à la crue de la Nartuby, du fait de sapements de berge.

Lors de l'épisode, la plupart des stations hydrométriques ont été détruites (Nartuby à Rebouillon et à Trans) ou mises provisoirement hors service (Argens aux Arcs). Pour les autres (Aille, Argens à Roquebrune), les hauteurs d'eau atteintes sont telles que l'extrapolation des courbes de tarage existantes n'aurait pas de sens. Je fournirai donc des débits estimés selon des approches hydrauliques par le REx Var ou par moi-même (mes estimations sont toujours plus basses que celles du REx).

3.1. Description des bassins versants

La Nartuby et la Florièye prennent naissance sur les hauts plateaux varois (Plans de Canjuers) constitués de calcaires et de dolomies du Lias et du Jurassique. Le bassin de la Nartuby culmine à la Montagne de Barjaude, à 1073 m d'altitude. Les deux rivières descendent vers un plateau triasique (calcaires et dolomies) à 200-300 m d'altitude, avant de rejoindre la dépression permienne *circum mauresque* où elles se jettent dans l'Argens, issu de l'ouest varois, calcaire et dolomitique.

Dans la partie amont du bassin de la Nartuby, celle-ci et son affluent la Nartuby d'Ampus, qui confluent à Rebouillon, ont creusé des gorges encaissées. Au niveau de Draguignan, la vallée est dominée en rive gauche par le massif du Malmont (551 m). La ville a été construite sur les pentes basses de ce relief et ne s'est étendue jusqu'à la Nartuby que récemment. En aval de Draguignan, le profil en

long présente deux ruptures de pente, la première à Trans même et la seconde en amont de la Motte.

Le bassin du Réal (qui traverse Les Arcs) naît sur le plateau triasique et rejoint l'Argens juste avant que celui-ci ne pénètre dans le massif cristallin des Maures. Durant son parcours mauresque, l'Argens est surtout grossi par l'Aille, dont les eaux viennent des Maures et de la dépression permienne. L'Argens ressort des Maures au Muy, où il reçoit la Nartuby. En aval de la confluence avec l'Endre, il s'écoule jusqu'à Fréjus et la mer dans une plaine alluviale à très faible pente.

3.2. Les petits bassins versants

Dans beaucoup de villages provençaux construits sur les bords d'un petit ruisseau, celui-ci a été couvert pour faciliter les aménagements. Cette configuration a eu des conséquences très négatives au Luc (une victime), à Lorgues, aux Arcs, à Figanières... et même à Draguignan (une victime).

Aux Arcs, par exemple, le Réal qui draine un bassin d'une superficie inférieure à 30 km² en amont du village, s'écoule en tunnel sous deux places aménagées dans les années 1840-1860. L'entrée du double tunnel dans lequel le ruisseau s'engage montre une réduction considérable de la section offerte à l'écoulement par rapport à l'arche d'un pont construit en 1724 (Photo 1-a). Mais les aménagements réalisés au cours des dernières années à la sortie du tunnel n'ont rien arrangé, la construction d'un théâtre de verdure et d'une promenade ayant conduit à n'offrir finalement aux eaux qu'un chenal rectangulaire, d'une section de quelques m², couvert de dalles de béton qui ont été soulevées (Photos 1-a et 1-b). Avec un débit de pointe qui a peut-être approché 100 m³/s le 15 juin 2010 (REx Var, *in* Boudevillain, 2011), les eaux se sont écoulées à la fois en rive droite et par-dessus l'ancien pont, balayant la rue principale et la place de la Mairie, et réduisant le théâtre de verdure et la promenade en aval à l'état de ruines. Les débordements ont débuté à 15h30 et se sont poursuivis jusque dans la soirée.

À Draguignan, au bas du Malmont, le ruisseau de la Riaille (bassin de 3,5 km²) entre dans une section couverte par une ouverture très étroite protégée par des barreaux contre lesquels se sont arrêtés des matériaux qui ont fait bouchon. Les eaux sont passées par-dessus bord et grossies d'autres apports (dont les pluies urbaines), ont emprunté différents chemins, dévalant la rue qui descend vers le centre-ville, d'une part, et inondant des immeubles et un lotissement construits dans une zone en cuvette (Photos 2), d'autre part. Le phénomène a débuté à 17h00, soit presque simultanément de ce qui s'est passé à Figanières, sur le versant oriental du Malmont. Il a été ici beaucoup moins long qu'aux Arcs, mais les secteurs en cuvette sont restés inondés, le réseau d'évacuation des eaux pluviales étant colmaté.

3.3. La Florièye et la Nartuby

La Florièye s'est manifestée violemment à Taradeau où des habitations récentes proches de la rivière ont été inondées et pour certaines détruites. Avec un débit de pointe de 350 m³/s environ (pour un bassin de 89 km²), la situation est devenue critique. Le pont enjambant la Florièye ne permettant pas le libre passage des eaux, le niveau est monté en amont jusqu'à submerger l'ouvrage. Vers 16h00, le remblai de rive droite a cédé, aggravant brusquement la situation en aval.

Mais c'est la Nartuby qui a été la plus meurtrière (15 victimes). La forme en entonnoir du bassin versant en amont de Rebouillon favorise la concentration rapide des eaux. Vers 16h30, les écoulements sont devenus de plus en plus violents. La perturbation provoquée par le pont joignant le hameau aux résidences de rive droite

a entraîné le dépôt des blocs charriés par la rivière. Le courant s'est déplacé en rive gauche, creusant un nouveau lit. Une maison, malheureusement occupée, a été emportée. Le débit de pointe a sans doute dépassé 300 m³/s (bassin de 149 km²).



Photos 1 : Les Arcs - a : Entrée du Réal dans les tunnels sous l'arche du pont de 1724 (à droite, maison détruite).

b : Sortie du Réal en aval de la place de la Mairie, au niveau du théâtre de verdure (noter le talus érodé en arrière plan).

c : Chenal réduit (qui était couvert) en aval du théâtre.

[Clichés : C. Martin, avril 2011, pour a, juillet 2010, pour b et c]



Photos 2 : Draguignan - a : Les eaux de la Riaille dévalant le boulevard de la Liberté.

b : Le lotissement "Le Clos Jean Aicard" inondé (en arrière plan, le Malmont).
[Clichés : Mairie de Draguignan, Édition spéciale juillet 2010 – Site : www.ville-draguignan.fr, onglet "Publications municipales"]



De la sortie des gorges de Châteaudouble jusqu'en aval de Draguignan, les débordements ont été spectaculaires. Le lit majeur de la rivière, encaissé de plusieurs mètres, partout relativement étroit, ne pouvait pas évacuer tout le débit. Les ponts ont en outre joué un rôle négatif, soit qu'un pilier et des aménagements obstruent en partie le lit (pont vers Lorgues – qui avait déjà posé problème lors de la crue de 1974 : 124 m³/s à Trans, Banque Hydro : www.hydro.eaufrance.fr), soit qu'un tablier horizontal empiète sur le lit majeur. Aux ponts routiers s'ajoutent ceux de deux voies ferrées désaffectées dont les remblais forment obstacle. En amont de Draguignan, le pont d'Aups a ainsi accentué le débordement, mais en rive droite, donc sans effet pour la ville. En aval de Draguignan, un autre pont ferroviaire et ses remblais ont en revanche contribué à l'extension de l'inondation dans la zone d'activité commerciale. Le débordement de la Nartuby s'est déclenché vers 17h15, touchant toute la partie basse de Draguignan, la prison, une clinique, la médiathèque, la caserne principale des pompiers, de très nombreuses habitations (Photo 3) et commerces.



Photo 3 : Draguignan - Le lotissement "Les Florentins", dans la partie ouest de la ville.

[Cliché : Mairie de Draguignan, Édition spéciale juillet 2010 – Site : www.ville-draguignan.fr, onglet "Publications municipales"]

En amont de Trans (bassin de 195 km²), se trouve une portion de vallée régulièrement inondée lors des fortes crues (débits de pointe supérieurs à 50 m³/s). Une zone commerciale et des habitations y ont cependant été construites. Quelques aménagements font en outre de ce secteur un bassin de rétention potentiel : route surélevée en rive gauche, blocage des écoulements à l'aval par un pont dont le remblai d'accès ferme la cuvette, passerelle située immédiatement en aval et en contrebas du pont. Une partie des eaux ayant débordé en rive gauche ont contourné le centre-ville par les quartiers est (Photo 4-a). Mais le cœur du village, au niveau de la rupture de pente qui assure pourtant un écoulement rapide sous des ponts anciens largement calibrés (Photo 4-b), n'a pas été épargné en rive droite. Le fait qu'une l'arche latérale du Pont Vieux (XVII^{ème} siècle) soit maintenant en grande partie obstruée n'a pas été sans conséquences.

À la Motte, le vieux village est en retrait de la rivière, mais des lotissements ont été bâtis à proximité. L'encaissement de la rivière offre ici une section importante aux écoulements, si bien que le pont de la D254 n'a pas été submergé pour un débit de pointe de 350 m³/s environ. Certaines installations en bord de rivière ont cependant été touchées (station d'épuration, centrale hydroélectrique). Le débordement d'un canal d'arrosage a creusé des ravines entre des maisons. Mais surtout, un sapement de berge en rive convexe a provoqué dans la nuit l'effondrement de deux maisons et la mise en péril de plusieurs autres (Photos 5).



Photos 4 : Trans - a : Inondation en rive gauche à 20h29. b : La Nartuby sous le pont Bertrand à 19h14. [Clichés : Mairie de Trans, *L'Écho de Trans*, Spécial inondations]



Photo 5 : La Motte - Sapement de berge et effondrement de villas au niveau du lotissement "Les Hauts de la Nartuby".

[Cliché : Les Agités de La Motte – Site : <http://lesagitesdelamotte.unblog.fr>]

Enfin, au Muy (bassin de 225 km²), les habitations et les commerces en bord de Nartuby ont été inondés. Le pont de la D7 a constitué un élément d'autant plus aggravant qu'il a été obstrué par un mobile-home, des voitures et divers débris.

3.4. L'Argens

Le débit de pointe à Roquebrune (bassin \approx 2700 km²) est estimé à 2500m³/s environ, plus de 50 % au-dessus du plus fort débit connu antérieurement (crue de décembre 1959) (Philippe Lefort, communication orale). Comparée aux 115 m³/s observés en aval de Carcès et de la confluence avec la Bresque (Banque Hydro – bassin \approx 1300 km²), cette estimation témoigne de l'abondance des écoulements dans le secteur le plus touché par l'épisode.

Dans la basse plaine de l'Argens, aux crues rapides de l'Argens moyen et de ses affluents se substitue une crue lente. Une grande partie de la plaine est inondée (voir les photos aériennes sur le site : <http://pluiesextremes.meteo.fr/index.php>). La montée des eaux devient préoccupante le 16 juin entre 2h00 et 4h00. Les dégâts sont considérables (habitations, locaux commerciaux et industriels, campings, exploitations agricoles...). Aucune alerte n'ayant été déclenchée, les populations sont totalement surprises. Sept décès seront à déplorer (Roquebrune et Fréjus).

4. Caractérisation des crues

4.1. Les traits remarquables

Dans les bassins touchés par les précipitations les plus fortes, ce qui frappe

d'abord, c'est l'abondance des débits de pointe. Toutefois les valeurs spécifiques sont restées généralement inférieures à $4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, alors que des précipitations de $30 \text{ mm}/\text{h}$ tombant en continu sont susceptibles d'assurer un débit de $8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ après saturation totale du bassin versant. Pour les bassins les plus étendus, la valeur maximale a été relevée sur la Florièye à Taradeau (près de $4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, contre de $1,6$ à 2 ou $2,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ sur la Nartuby à La Motte, Trans et Rebouillon), ce qui est en relation avec la très forte intensité des pluies à Lorgues et à Taradeau de 14 à 16 heures. Le débit de pointe (en m^3/s) a peu augmenté entre Rebouillon et La Motte, du fait de l'expansion de la crue dans les zones inondées.

Après un début d'épisode hydrologique conforme aux fonctionnements habituels, les cours d'eau ont connu une montée de crue forte et rapide, qui a demandé une trentaine de minutes. Sur la Florièye, elle s'est produite vers $16\text{h}00$, après des précipitations de l'ordre de 200 mm et en réponse à des averses particulièrement intenses depuis $14\text{h}00$. Ici, comme sur la Nartuby et les autres bassins, avec la saturation de zones de plus en plus étendues, les réponses aux précipitations se sont faites très brutales, que les eaux ruissellent en surface où qu'elles circulent dans les niveaux supérieurs de calcaires fissurés et karstifiés.

Dotés d'une très grande énergie, les cours d'eau ont arraché la ripisylve, érodé les berges et charrié des quantités énormes de matériaux auxquels se sont ajoutées un grand nombre de voitures en aval des secteurs urbanisés.

Autre fait marquant, le maintien de précipitations abondantes et intenses pendant une douzaine d'heures. Elle explique l'importance de la crue de l'Argens à Roquebrune et l'inondation de toute sa basse plaine, le fleuve ayant cumulé des débits importants fournis par tous ses affluents en aval de Vidauban.

4.2. Les périodes de retour, cas de la Nartuby

La Nartuby avait déjà connu un épisode très violent, en juillet 1827, à la suite d'un orage localisé sur le haut bassin versant. À Trans, le parapet du Pont Vieux a été endommagé et une maison a été engloutie. Mais il est difficile de comparer les situations. En effet, l'occupation du milieu était très différente en 1827, la forêt ayant alors une extension limitée. De toute façon, seule une étude statistique peut établir la probabilité de survenue d'un épisode d'ampleur donnée.

Beaucoup de méthodes sont disponibles pour le calcul des périodes de retour. Elles fournissent des résultats très différents, si bien que leur choix n'est pas toujours innocent. Pour la Nartuby, le PPR de Draguignan (2005) utilise la méthode du Gradex : le débit moyen journalier vicennal est déterminé par la loi de Gumbel ; au delà, on considère que toute nouvelle pluie est écoulee ; les débits de pointe de crue références sont ensuite estimés en multipliant les débits journaliers références par la valeur moyenne des rapports entre les débits de pointe et les débits journaliers trouvés pour les plus grosses crues enregistrées. Je suis reparti des résultats de ce document, mais en recalant les débits références de sorte que le débit de pointe vicennal corresponde à celui fourni par la loi de Gumbel appliquée aux débits instantanés. Par cette approche, la période de retour du débit de pointe de la Nartuby à Trans le 15 juin 2010 (estimé avec beaucoup de prudence à $320\text{-}350 \text{ m}^3/\text{s}$) apparaît supérieure à 400 ans, sans risque systématique qu'elle soit surestimée, bien au contraire. J'ajouterai que si les débordements sérieux ont débuté bien avant que le débit maximal ait été atteint, la période de retour correspondant au début des graves problèmes est au moins de 200 ans, que l'on considère le débit (de l'ordre de $250 \text{ m}^3/\text{s}$) ou les précipitations (200 mm , avec des intensités très fortes dans les dernières heures).

Bien sûr, en ajoutant un événement aussi exceptionnel que celui de juin 2010 à une chronique courte (depuis 1969 à Trans), les périodes de retour se trouveraient sensiblement réduites. Mais la représentativité des résultats ne serait évidemment pas satisfaisante.

5. Prévision et gestion de l'événement

Météo France avait parfaitement prévu un très fort épisode orageux sur la façade méditerranéenne française et en avait progressivement affiné la localisation. Des pluies pouvant atteindre jusqu'à 250 mm étaient annoncées, ce qui était logique compte tenu des données anciennes. En revanche, les risques d'inondation étaient sous-estimés, quelques débordements localisés étant envisagés. Mais Météo France n'a pas de compétence dans ce domaine et le Service de prévision des crues n'assurerait encore aucun suivi dans le bassin de l'Argens. Il est toutefois regrettable que la mesure de la situation n'ait pas été prise dans l'après-midi du 16 juin, l'alerte météo étant maintenue à l'orange alors qu'un passage au rouge s'imposait.

Localement, tous les services compétents ont été surpris, à l'image du Maire de Draguignan en réunion au rez-de-chaussée de la caserne des pompiers subitement inondée. Mais la réaction a partout été efficace. Près de 2500 personnes ont été secourues (plus de 1300 par hélitreuillage), dont 300 dans une situation très critique (Charaud et Paya, *in* CETE, 2011). Dans les jours suivants, l'armée est venue en renfort pour aider à une certaine remise en ordre, sinon en état.

Cet épisode pose évidemment le problème de la transmission des informations. En effet, alors que la situation à Trans et aux Arcs était très difficile depuis 16h00, aucune disposition n'a été prise ailleurs pour que les populations soient mises en sécurité. Beaucoup de personnes ont donc quitté leur travail et emprunté les routes à 17h00, juste avant que la Nartuby connaisse sa montée de crue brutale à Draguignan.

Plus surprenant, aucune alerte et aucun conseil n'ont été adressés aux populations de la plaine inférieure de l'Argens. Certes, sur les cours d'eau affluents, les débits les plus forts ont été atteints en début de soirée, mais les conséquences de l'épisode en aval de Roquebrune étaient déjà prévisibles à 18h00. Aucune réponse n'a été pour l'instant donnée à cette interrogation.

Presque une année après, les choses ont repris leur cours. Mais il reste encore à faire. Les assurances n'ont pas tout remboursé, notamment dans le cas des collectivités territoriales. Les aides promises par l'État sont loin d'avoir été intégralement versées. Beaucoup de communes se sont lourdement endettées.

6. Conclusion

Le bilan humain et matériel de l'épisode pluviométrique du 15 juin 2010 est très lourd. Il devrait inciter à prendre quelques dispositions pour améliorer la sécurité des biens et des personnes dans l'avenir. Au delà d'une amélioration des prévisions météorologiques et de connaissances plus fines des fonctionnements hydrologiques, on peut espérer la mise en place d'un service d'alerte hydro-météorologique plus efficace. Pour le reste, si les mesures bien connues en la matière (d'interdiction ou d'obligation) seront peut-être appliquées, il n'en demeure pas moins vrai que mis à part quelques cas particuliers, il sera impossible de modifier grand-chose. Bien sûr, des efforts devront être faits pour faciliter et/ou accélérer la circulation des eaux dans les secteurs où les implantations humaines sont menacées. Bien sûr, quelques

zones pourront être préservées pour l'expansion des crues, à supposer que des espaces non occupés existent encore dans chaque bassin versant. Mais cela sera bien peu, car beaucoup d'aménagements ont été réalisés sur lesquels il sera difficile de revenir. L'État a décidé de fermer la prison de Draguignan plutôt que de la réaménager, mais ce geste ne peut avoir qu'une portée symbolique... ou politique. À quelques exceptions près, les habitations et les locaux professionnels resteront là où ils se trouvent, et d'autres viendront sans doute s'y ajouter du fait de la pression socio-économique, que ce soit dans le bassin de la Nartuby ou dans la basse plaine de l'Argens.

Au demeurant, s'il a été catastrophique, l'épisode du 15 juin 2010 a aussi comme caractère d'être exceptionnel. Chaque année, la probabilité pour qu'un épisode au moins équivalent se produise est inférieure à 1/400 à Trans et elle est encore plus faible à Rebouillon et à Taradeau. Pour l'amorce des problèmes sérieux, la probabilité, dans tout ce secteur, reste en dessous de 1/200. Enfin, une inondation comme celle observée dans la basse plaine de l'Argens en juin 2010 ne peut être provoquée que par des précipitations extrêmement abondantes sur une grande partie du bassin versant, suffisantes en tout cas pour entraîner une forte concentration des écoulements. Contrairement à l'avis du REx Var (Fourmigué *et al.*, *in* CETE 2011), qui avance pour l'instant une période de retour de 100 ans, il faut certainement ici aussi considérer l'épisode de juin 2010 comme pluri-centennal.

Les décisions devront tenir compte à la fois de la nécessité de protéger la population, des contraintes socio-économiques et de la réalité objective du risque. Il n'existe pas de solution toute faite. Définir des actions pertinentes nécessite d'examiner l'ensemble des enjeux et de chercher entre eux un équilibre qui permette, en fonction des moyens disponibles, d'assurer un bon niveau de sécurité au regard du risque, tout en ne bloquant pas le développement.

Remerciements : Je suis reconnaissant à la Mairie de Draguignan, à celle de Trans-en-Provence et à l'association "Les Agités de La Motte" de m'avoir autorisé à puiser dans leur fonds photographique, ainsi qu'à M. Didier Gauthé de ses remarques.

Références :

ARTIGUE, G., DUMAS, D., MERTZ, C. et WESOLEK, E., 2010. *Retour d'expérience sur la prévision météorologique et hydrologique d'un épisode diluvien exceptionnel.* Édit. KERAUNOS, Observatoire Français des Orages Violents et des Tornades : 20 p.

En ligne : www.keraunos.org/recherche_inondations_var_15_juin_2010_prevision.pdf.

BOUDEVILLAIN, B., 2011. *Risque hydrométéorologique, crues et inondations.* Université Joseph Fourier / Diffusion des savoirs, Cours 1 : Introduction.

En ligne : www.lthe.fr/PagePerso/boudevil/ENS/DDS-364-cours1.pdf.

CETE, 2011. *Présentations de la journée technique du 15 mars 2011 "Retour d'expériences sur les intempéries des 15 et 16 juin 2010 dans le Var".* CETE Méditerranée.

En ligne : www.cete-mediterranee.fr/fr/breve.php3?id_breve=70.

LANG, M. et LAVABRE, J., 2007. *Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations.* Édit. Quæ, collection "Update Sciences & Technologies" : 232 p.

MARTIN, C., 2010. Les inondations du 15 juin 2010 dans le Centre Var : réflexion sur un épisode exceptionnel. *Ét. Géogr. Phys.*, XXXVII : 41-76.

En ligne : www.physio-géo.fr (onglet E.G.P.).

PPR Draguignan, 2005. *Plan de Prévention des Risques Prévisibles (PPR). Commune de Draguignan. La Nartuby. 1 - Note de présentation.* Direction Départementale de l'Équipement du Var et Direction Régionale de l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'azur : 22 p. + 5 annexes.

T h è m e 3

Aspects agronomiques de la gestion conservatoire de l'eau et des sols (G C E S)

Pour retarder « la fatigue des sols cultivés », on peut faire appel à l'association des plantes (cultures associés), ce qui ralentit la vitesse de dégradation et améliore l'exploitation des ressources du sol et maintient plus longtemps leur productivité en réduisant les risques d'érosion ou d'attaque des nuisibles.

L'association ou la rotation des céréales avec des légumineuses (arachide, soja, haricots...) apporte de l'azote de l'air. Mais ces techniques sont inopérantes sur des sols déjà dégradés car pour se développer correctement, les légumineuses exigent suffisamment de phosphore assimilable et des pH presque neutres.

La gestion des résidus de culture (compost, fumier, paillage) ou des déchets urbains entretient les bonnes conditions physiques du sol et libère des nutriments favorables à la production des cultures. Cependant, les teneurs en nutriments des matières organiques sont faibles par rapport aux engrais chimiques et les quantités disponibles toujours trop réduites. Il faut donc prévoir à la fois une bonne gestion des matières organiques disponibles et un apport complémentaire de nutriments minéraux (le phosphore, souvent l'azote et certains oligo-éléments).

Certaines cultures comme les bananiers, les ananas et la canne à sucre produisent une abondante biomasse : leur gestion à la surface du sol, combinée avec des apports d'engrais minéraux complémentaires permet de construire des sols humifères fertiles (ex Burundi, Martinique).

Enfin quand les collines sont trop érodées pour soutenir des cultures, il est possible de retenir les sédiments riches dans les vallées, de créer des sols alluviaux fertiles et d'y stocker les eaux de ruissellement des versants (seuils, citernes, puits) permettant des cultures intensives dégageant sur de petites surfaces des produits vivriers attendus en ville et d'un bon rapport pour les paysans (ex projet Gros Morne en Haïti).

LES CULTURES ASSOCIEES TRADITIONNELLES A L'ECHELLE DU CHAMPS : Une technique biophysique raisonnée de valorisation des intrants et de gagner plus qu'en monocultures.

Valet Serge¹

¹PASSERELLES, 9, rue du Bât d'Argent, 69001, Lyon France ; valet.serge2@wanadoo.fr.

Résumé

Les résultats de cette étude conduite sur les cultures associées traditionnelles multi stratifiées et en relais dans la région des hauts plateaux de l'Ouest Cameroun démontrent le « *génie agricole* » des paysans illettrés qui repose sur leur connaissance empirique agropédoclimatique. Par rapport aux monocultures, les associations culturales offrent un ensemble de services supérieurs dans de nombreux domaines agronomiques et environnementaux, assurant une meilleure conservation/réhabilitation de la structure du sol et infiltration avec limitation de l'engorgement du sol, une meilleure protection du sol contre l'érosion ; un enracinement plus important et plus efficace, une meilleure utilisation des réserves en eau et nutriments ; une séquestration optimum du carbone. C'est ce qui explique qu'elles fournissent des rendements maxima totaux (LER) pour des doses de fertilisation minérale maximum de 20 à 50% plus faibles que pour les monocultures maximisant les apports de fertilisation minérale. Grâce à l'économie d'intrants et de sol, elles sont plus rentables que les monocultures. La maximisation de la biomasse souterraine et aérienne explique la meilleure résistance à l'érosion hydrique. Les savoirs bio-agro-pédologiques empiriques renforcés par les savoirs scientifiques devraient concourir à la réhabilitation des agro-écosystèmes face à l'accroissement démographique et au changement climatique.

Mots- clés : associations multi stratifiées, aggradation, biomasse, engrais minéraux et organiques, lutte antiérosive, Cameroun.

Abstract:

The results of this study about the traditional mixed and relay cropping in the W-Cameroon highlands proved the "*agricultural genius*" of the illiterate peasants which is due to their empirical agro-pedo-climatic knowledges. With regard to the pure cultures, mixed cropping offer some ecological services: best land conservation/rehabilitation, soil infiltration and structural preservation, good manual tillage, adequate soil erosion struggle, and optimal carbon sequestration... These explain that the optimal mineral fertilizer doses are 20 to 50% less than these of the pure cultures. So, because the nutrients and soil economy, and the more important total yields (LER), than the same pure cultures, the mixed cropping make more money. The aerial and subterranean biomass maximisation explains the best resistance to the erosion. The empirical knowledge reinforced by the scientific knowledge would contribute to secure the agro(eco)logical conservation/rehabilitation face to the population increase and the climate change.

Key-words: Mixed cropping, soil aggradation, biomass, manure and mineral fertilizer, erosion, Cameroon.

I. OBJECTIF

Les cultures associées traditionnelles recouvrent toujours de grandes surfaces dans le monde et assurent l'alimentation de plus d'un milliard de paysans illettrés. Ils pratiquent empiriquement ce type d'agriculture du sahel aux forêts tropicales (Hecq, 1958 ; Baldy, 1963 ; Valet, 1966 et 1970 ; Mazoyer, 1972). Les espèces et variétés cultivées, de même que leur nombre, varient avec la latitude mais aussi avec l'altitude, de même qu'avec les habitudes alimentaires traduisant l'adaptation aux potentialités multiples des agro-écosystèmes (Valet, 1966-1971; de Ravignan, 1969 ; Dupriez, 1980a). Pour les agronomes ces dernières « *devaient tout naturellement céder la place aux cultures intensifiées pures dès lors qu'elles auraient montré leur supériorité* » (Tardieu, 1970). Quant à d'autres chercheurs, qui croyaient cependant à la supériorité des associations, ils pensaient que « *la culture pérenne doit conquérir normalement tout l'espace à l'exclusion des petites exploitations de subsistance tournées d'abord vers les cultures vivrières* » (GRET, 1982). Les échecs de l'intensification des monocultures (*Révolution verte prônée dès 1950*) et aussi des techniques physiques de lutte contre l'érosion, sont reconnus et expliqués en partie par M. Griffon : « *Les agronomes ont été formés pour éradiquer les écosystèmes pour créer un système artificiel, simplifié et forcé par l'introduction d'une grande quantité d'engrais et de pesticides* » (CIRAD, 2007). La nécessité de « *nourrir la planète* » tout en la préservant oblige désormais à étudier les cultures associées traditionnelles innovantes (Valet, 1966-71). Pour ce faire des essais sur les cultures associées dans la région des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun qui représentent le meilleur exemple et le plus complet des associations culturales par leur diversité mais aussi par la possibilité d'en multiplier les arrangements ont été conduits.

L'objectif de cette étude doit répondre à plusieurs questions agro-environnementales que pose cet apparent et abondant chaos végétal :

- 1) Quelles actions ces associations culturales ont-elles sur le sol qui « *est une ressource essentielle à l'activité humaine et à la survie des écosystèmes* ?
- 2) Comment assurer une augmentation de productivité des associations de façon soutenue sans pollution ?
- 3) Quels indicateurs retenir pour démontrer l'effet de ces associations face au changement climatique ?
- 4) Quels bénéfices comparés à ceux des monocultures ?

2. METHODE ET MATERIEL

2.1. Localisation

L'étude a été réalisée dès 1966 dans l'Ouest-Cameroun en trois régions Nkondjock, pays Bamiléké et Bamoun entre 9° et 11°E et de 5° à 6°N.

2.2. Le climat

La pluviosité moyenne annuelle diminue du sud-ouest au nord-est de plus de 3000mm à 1450mm (période 1921 à 1968) mais augmente au voisinage des plaines et des massifs montagneux (Valet 1966). La diminution entraîne le raccourcissement de la saison utile des pluies et une réduction du nombre de cycles annuels de cultures. Les températures moyennes annuelles qui diminuent avec l'altitude, sont de 27,5°C au sud à moins de 19°C dans les monts Bamboutos. L'insolation augmente de 1750 à 2400 heures inversement à la pluviosité. La région Bamoun est à risque de sécheresse climatique.

2.3. Les sols

Les formations plus anciennes (socle granito gneissique et basalte ancien) supportent les sols ferrallitiques (rouges et jaunes) les plus altérés ; alors que les plus

récentes ont donné des sols faiblement ferrallitiques sur la série éruptive moyenne et sols jeunes noirs et bruns sur la série supérieure basaltique et des sols remaniés caillouteux. Certains sols ferrallitiques et bruns enrichis en cendres volcaniques basaltiques sont appelés «à profil complexe» (Sieffermann, 1973). Ces sols présentent des sommes de cations échangeables de 1,8 à 31,5 m.éq./100g, de Corg. de 1,8 à 10%, et des carences minérales en P et K de nulles à très fortes (Valet, 1967).

Les sols sont caractérisés par trois régimes hydriques : *Udic* (bien alimenté en eau), *Aquic* (engorgement) et *Ustic* (avec une période de sécheresse).

2.4. Essais de fertilisation

Des courbes de réponse (Urée & P₂O₅) ont été réalisés sur la monoculture de maïs (Cuban yellow et Mexican V seules ou croisées, Z290) et sur des associations bi et tri spécifiques comprenant des tubercules (Taro blancs: *colocasia antiquorum* et Macabo blancs: *xanthosoma sagittifolium*) et des légumineuses (Soja –Cola, ISRA3/73 & SJ289 et Haricot local). Des apports suffisants de P₂O₅ (Phosphate bi calcique) et de K (Chlorure de potassium) ont été ajoutés. Des essais de fertilisation organique (fumier de bovins et écobuage) ont été réalisés.

3. RESULTATS

3.1. Techniques culturales

3.1.1. Densité des cultures ou IOS (Indice d'Occupation du Sol)

La densité des cultures est mesurée par l' IOS qui varie de 1,40 pour l'association tri spécifique, 1,30 à 1,95 pour les associations bi spécifique et varie de 1,04 à 3 pour 5 à 12 espèces dans l'association traditionnelle en fonction du climat et de la qualité du sol (Valet, 1976 ; Salez, 1986 et 1990).

3.1.2. Travail du sol : billonnage

Les billons sont réalisés manuellement à l'aide d'un socle de pelle emmanché comme une houe. Les mauvaises herbes et les résidus de récolte sont déposés dans le sillon puis enfouis l'année suivante au sein du nouveau billon. Ce déplacement latéral des billons d'une année l'autre assure une certaine succession et assolement car les mêmes cultures ainsi ne se retrouvent pas en contact avec les mêmes particules de terre. De plus en plus de paysans sur sol plan pratiquent le labour mécanisé équin à plat suivi de billonnage.

- Dimension

Les billons sont espacés de 60 à 200 cm selon la nature du sol.

*Sur sol peu profond et caillouteux, notamment sur granite, ils sont peu épais et rapprochés et de longueur réduite.

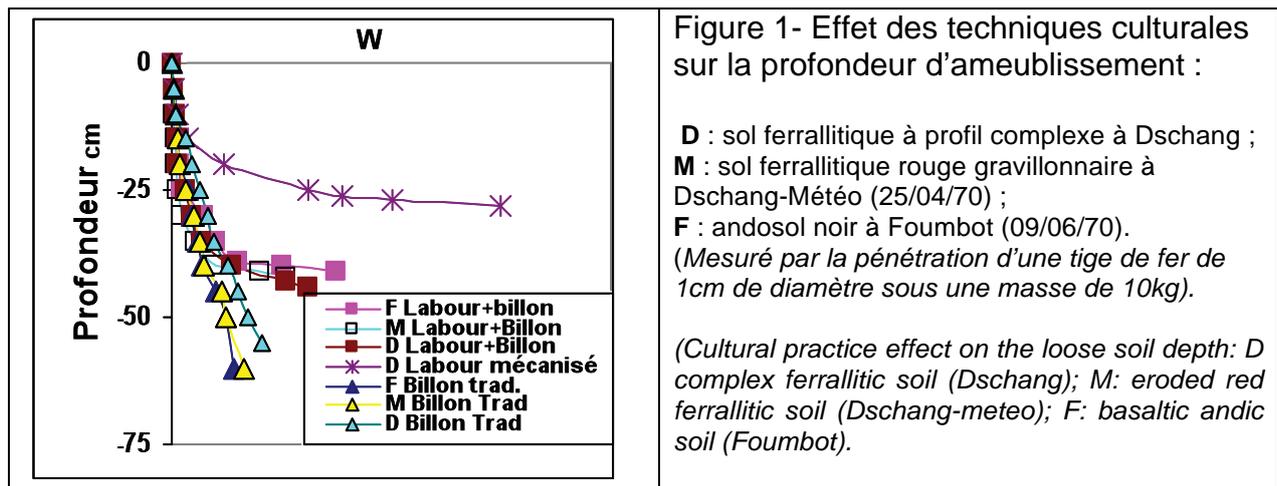
*Sur sol profond et limono argileux, sur basalte ou à *profil complexe* (enrichi en cendre volcanique), leur taille et leur espacement sont grands.

* Sur sol profond, notamment en zone hydromorphe, les buttes sont importantes et courtes.

- Distribution sur le versant

Les billons ont été réalisés perpendiculairement à ces pentes faibles.

- Ameublissement



Sur les sols très contrastés utilisés, sol ferrallitique à profil complexe, sol ferrallitique rouge gravillonnaire érodé (Dschang) et sol noir andosolique sur cendres basaltiques (Foumbot) les techniques culturales manuelles traditionnelles de travail du sol provoquent, de façon hautement significative, un ameublissement plus important sur une plus grande profondeur et une structuration meilleure que le labour mécanisé même suivi d'un billonnage (Fig. 1). Ainsi, une force appliquée de 75kgm fait pénétrer une tige métallique de 1cm de diamètre jusqu'à la profondeur de -25cm pour le labour mécanique, -46cm pour le labour et billonnage mécaniques et de -65cm environ pour le billon manuel traditionnel. Cet ameublissement favorise l'enracinement très différent des multiples espèces latéralement et en profondeur.

3.1.3 Structure et porosité totale

Outre la différence observée sur l'ameublissement du sol, le billon manuel traditionnel améliore significativement la porosité totale du sol en réduisant la densité apparente par rapport aux labours mécanisés de 1.25 à 0,99 soit une amélioration de la porosité totale de 49 à 61%. De plus, le sol laissé nu en monoculture, en septembre pendant les plus fortes pluies très agressives, subit une plus grande érosion que celle très importante mesurée en début de saison de culture (Valet, 1999). Un essai de paillage protecteur, épais de 30cm, contre l'érosion sur une monoculture de maïs en saison des pluies a montré qu'il provoque une baisse de rendement de 7 à 19% respectivement sans et avec engrais, car il maintient l'humidité du sol au dessus de la capacité au champ (de 40% à 8% respectivement de -2cm à -20cm de profondeur) et abaisse la température (à 12h. en moyenne de 9°C à 6°C respectivement de -2cm à -20cm de profondeur) ; Il ne peut donc pas être conseillé en saison des pluies pour protéger le sol de l'encroûtement (Valet, 1999).

3.1.4. Déficit ou excès hydriques

Deux risques de déficit hydrique l'un climatique en région Bamoun et l'autre édaphique dans les deux régions pour les sols qui présentent un régime hydrique de type *Ustic* sur pentes fortes et en sols très sableux ou peu profonds ont été identifiés (Valet, 2004). Mais le plus souvent au cours du premier cycle cultural c'est le drainage qui domine. Il explique à la baisse de 54 à 66% la variance des rendements du maïs pour les différents sols (Fig. 2). Cet effet dépressif du drainage est aussi mesuré dans des essais conduits sur sol hydromorphe où il se caractérise par un

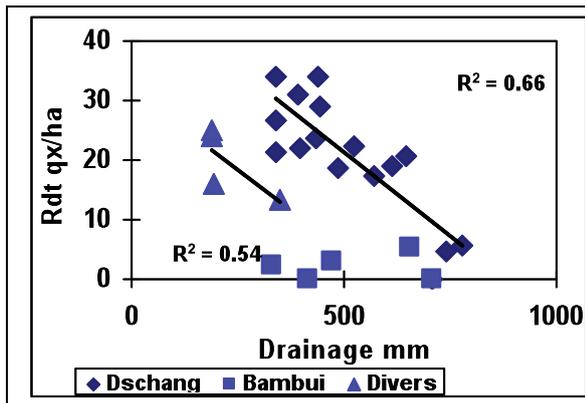


Figure 2- Relation entre le rendement du maïs ($Qx\ ha^{-1}$) et le drainage (mm) sur des sols de différente qualité dans l'Ouest-Cameroun (1965-1972).

(Maize yield ($Qx\ ha^{-1}$) versus drainage (mm) for variable quality of soils in West-Cameroun (1965-1972).

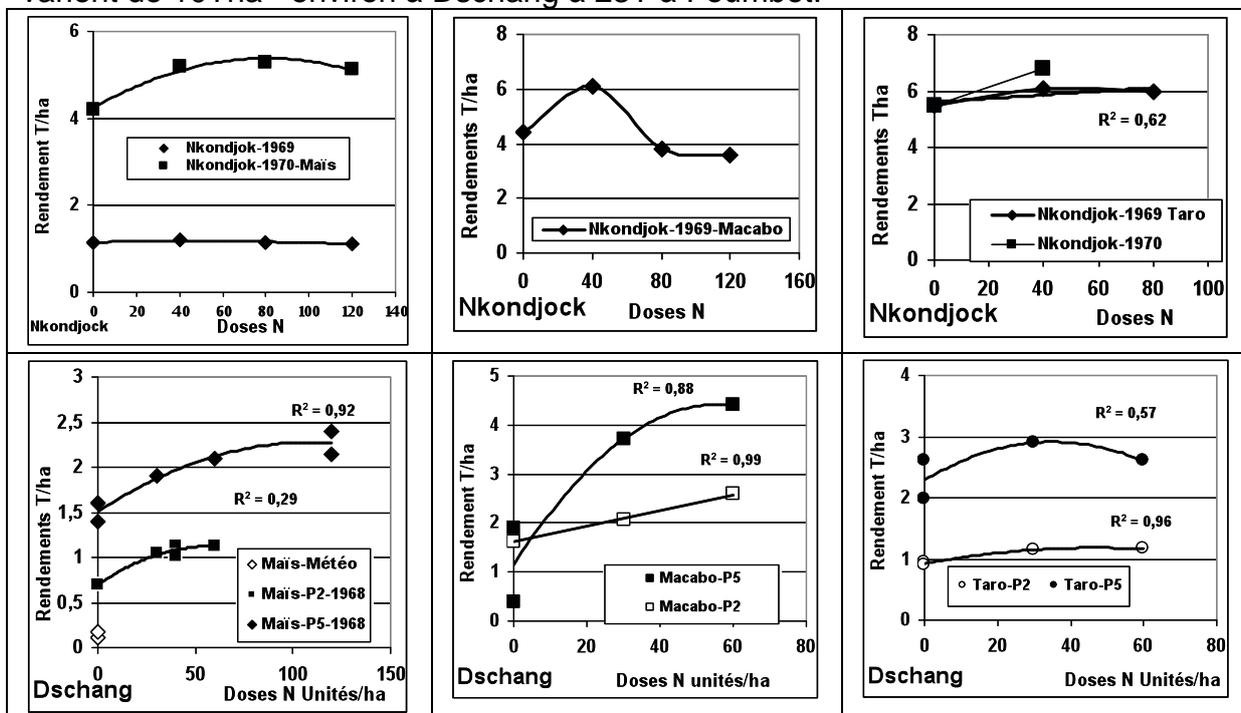
allongement significatif du cycle du maïs. Dans les deux cas, c'est l'engorgement du sol avec le risque d'asphyxie racinaire et le blocage de la minéralisation de l'azote qui ajoutent leurs effets pour allonger la durée de la croissance de la culture et réduire sa biomasse. Avec l'installation de la sécheresse, à partir de 1970, le risque d'engorgement s'atténuera et celui d'aggravation du déficit hydrique des associations traditionnelles devrait s'accroître et accentuer la compétition entre espèces.

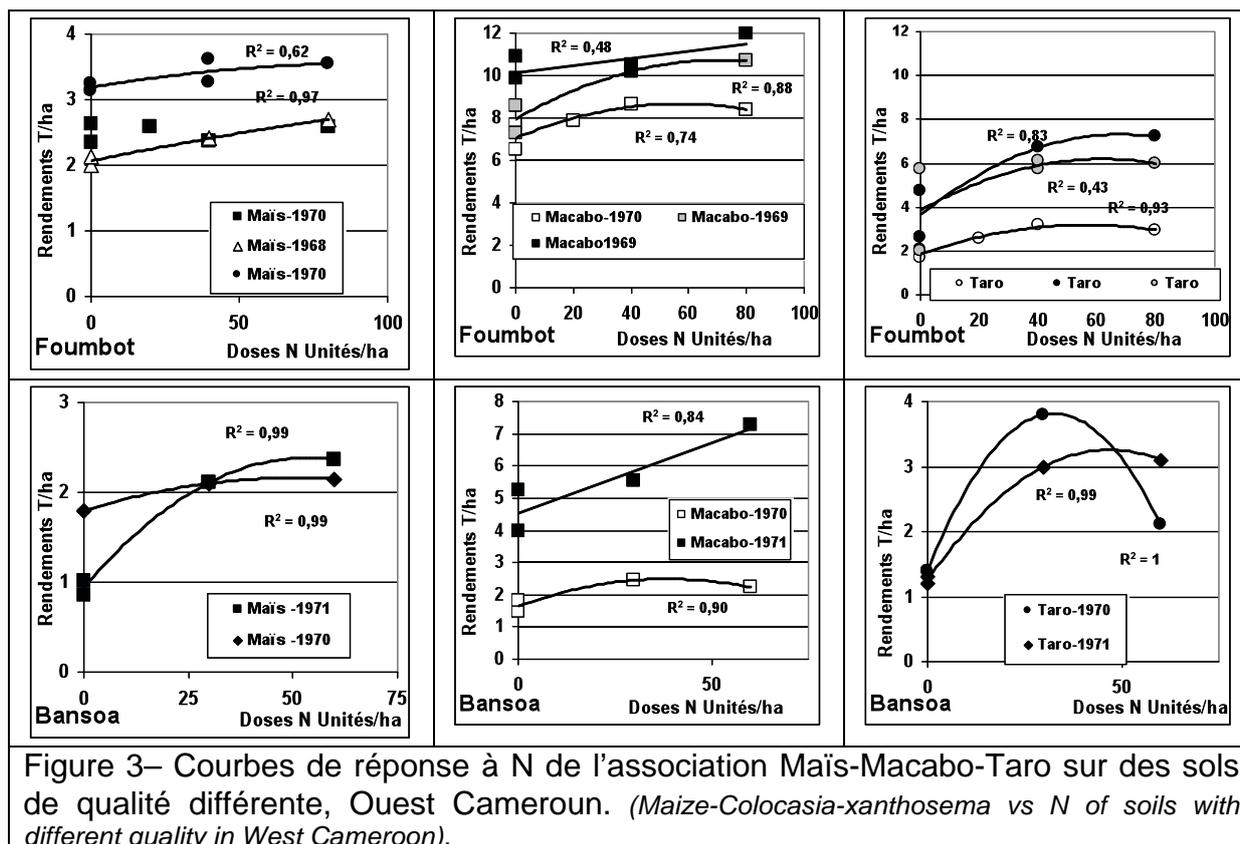
3.1.5. Fertilisation des associations culturales et des monocultures

A- Fertilisation minérale

- Associations tri spécifiques :

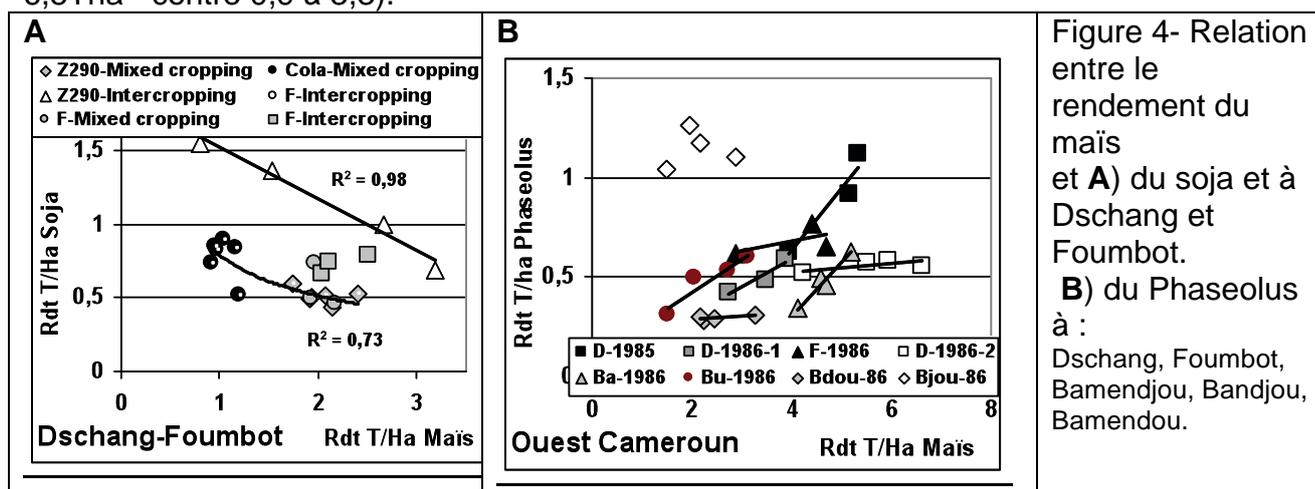
Les courbes d'apport croissant d'urée (avec doses satisfaisantes de P et K) démontrent que le maximum se situe entre 60 et 80 U/ha de N pour le maïs, 40 à 60 environ pour le macabo et le taro pour des sols de qualité différente (Fig. 3). Les rendements totaux pondéreux maximum enregistrés aux doses maxima d'engrais varient de $10T\ ha^{-1}$ environ à Dschang à $23T$ à Foumbot.





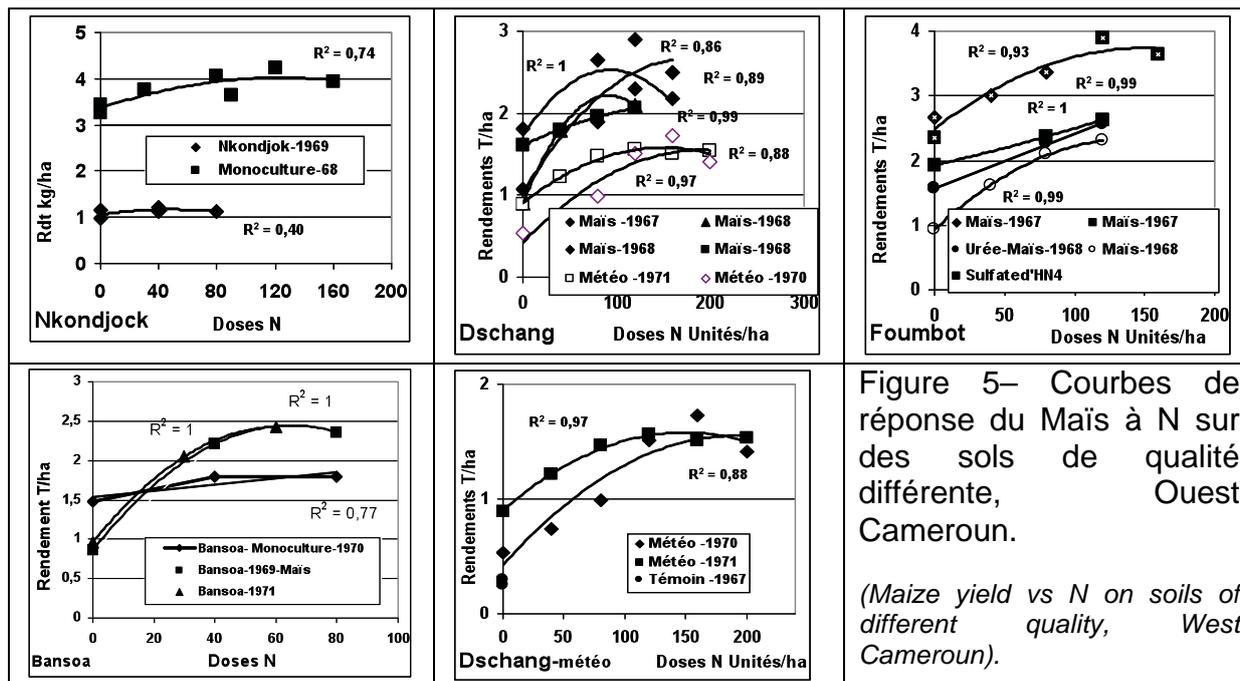
- Association bi spécifique : Maïs-Soja & Maïs-Haricot

A partir d'essais conduits par Salez (1986, 1990) pendant 10 ans, on constate, pour des doses de N-P de 0 à 80 U/ha, que l'association Maïs-Soja présente un net antagonisme (Fig. 4A) au contraire de l'association Maïs-Haricot (Fig. 4B) quel que soit le type d'arrangement spatial (mêlé ou intercalaire). Les rendements du maïs sont nettement supérieurs dans l'association avec le haricot qu'avec le soja (1,6 à 6,5T_{ha}⁻¹ contre 0,9 à 3,3).



- Monoculture de maïs

La dose maximum d'urée se situe entre 65 et 150 U/ha de N donc de 20% au double de celle obtenue en association tri spécifique (Fig. 5). Les rendements obtenus en

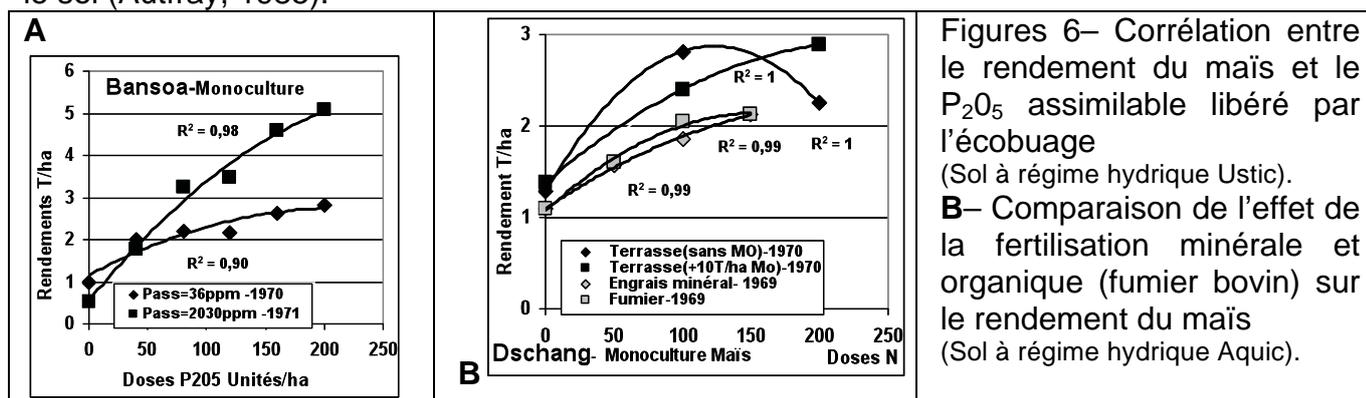


monocultures ne sont pas très supérieurs à ceux obtenus en association trispécifique. Seuls quelques rendements avec Soja et haricot sont nettement supérieurs mais avec une autre variété plus performante. La réponse pondérale du maïs dans ses essais aux doses croissantes de N et sa variance locale dépendent de la qualité des sols en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques et du micro climat comme le définit Karlen et al. (2001).

B- Fertilisation organique

- Ecouage

L'écouage, réalisé seulement tous les 5 ans, libère brutalement beaucoup plus de P_2O_5 assimilable et de potasse que le témoin (Témoin = 30ppm contre 2030ppm de P_2O_5 libérés) et provoque une augmentation de 79,5 % du rendement du maïs pour 200 U/ha de phosphate (forme bi calcique) (Fig. 6A). Il maintient de plus l'azote dans le sol (Autfray, 1985).



- Fumier bovin

A dose de nutriments égale à la fumure minérale, le fumier a un effet identique sur le rendement du maïs ; de plus il majore l'effet des apports (+27,3% avec 200 U/ha) de N (Urée) (Fig. 6B).

- Jachère

La forte production de biomasse et le maintien de la jachère assurent efficacement la restauration physique et chimique de la fertilité du sol. A Koumelap sur un sol ferrallitique rouge sur basalte ancien, la jachère a permis au sol de recouvrer une fertilité minérale et organique équivalente à l'enfouissement de stylosanthes, en cations nettement supérieure, en phosphore légèrement inférieur à un apport de 200 unités ha^{-1} de P_2O_5 et une stabilité structurale supérieure à la monoculture intensifiée sur 20-40cm (Valet, 1999b).

3.1.6. Haies vives et parc arboré

Les cultures associées implantées dans des parcs arborés (arbres et arbustes divers) et entourées par des haies vives bénéficient de leurs apports organiques (feuilles, brindilles, branches, racines, BRF) (Photo 1). Après 6 mois seulement ces haies filtrent et retiennent 95% de la charge solide au Burundi (Duchaufour et al., 1996). De plus, ces haies permettent une amélioration de la fertilité et du rendement par remontée des nutriments et par la biomasse produite, 102 à 124kg ha^{-1} an^{-1} de N, 6 à 9kg ha^{-1} an^{-1} de P_2O_5 et 18kg ha^{-1} an^{-1} de K et le CO (Ndayzigiyiye, 1993). A la Réunion, sur fortes pentes une haie de *calliandra calothyrsus* améliore l'état structural des Andosols très sensibles à l'érosion (Cattet, 1996). Dans l'Ouest Cameroun, Kalemba et Ndoki (1995) ont vérifié l'effet des BRF (Bois Raméaux Fragmentés : branches de diamètre inférieur à 8cm), produit de l'émondage des

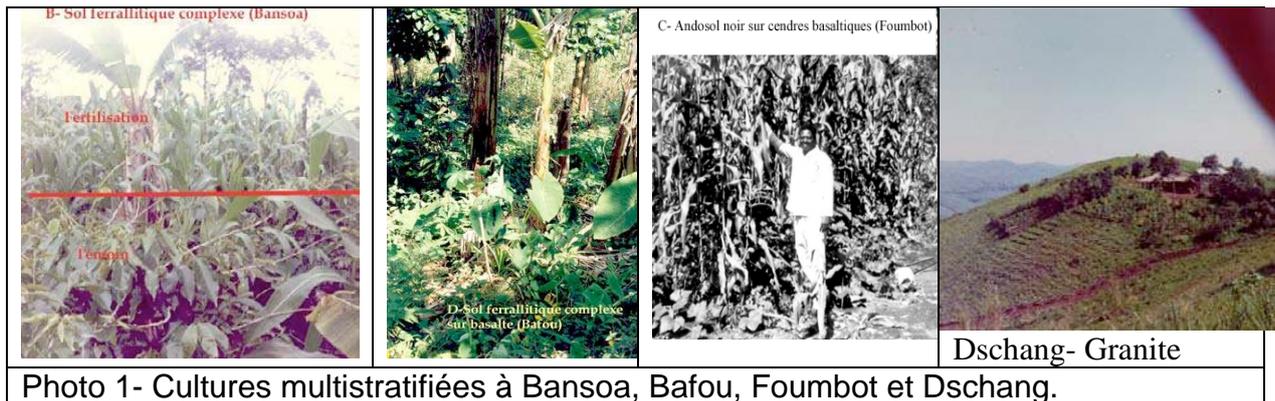


Photo 1- Cultures multistratifiées à Bansoa, Bafou, Foubot et Dschang.

haies et des arbres, sur l'amélioration du rendement du niébé et sur l'aggradation du sol. Ce rôle comme amendement organique efficace dans l'aggradation des sols productifs (Lemieux et al., 1999) a été évoqué par Valet (2007).

3.2. Revenus comparés des cultures associées et des monocultures

Les bénéfices de divers systèmes de cultures associées traditionnelles et raisonnées

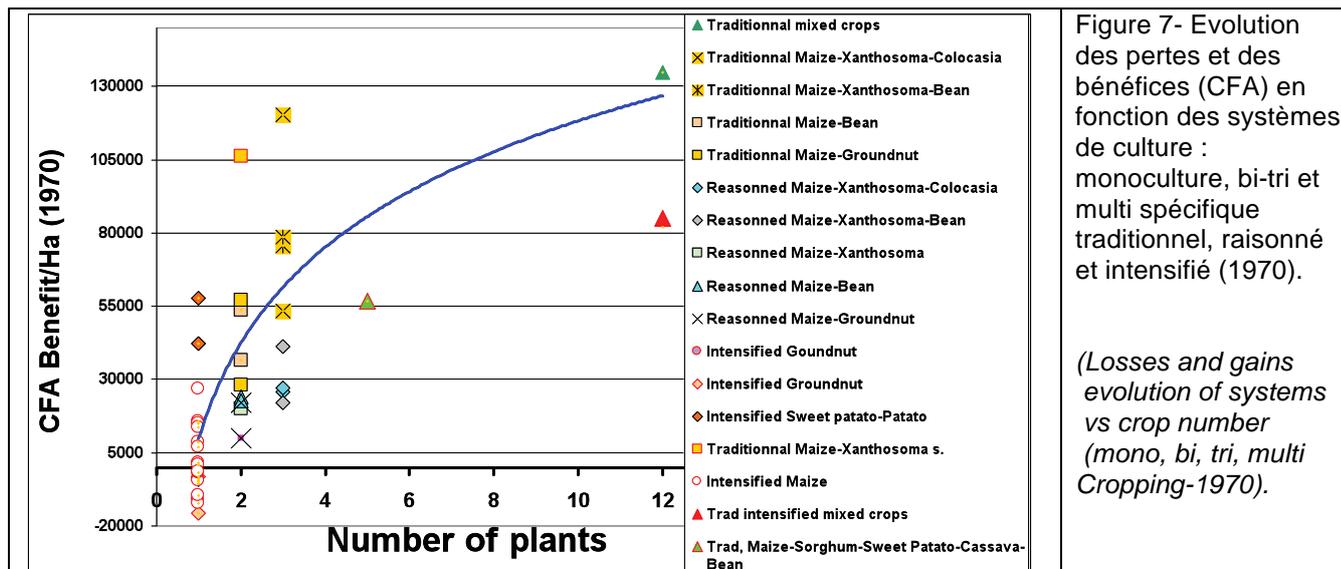


Figure 7- Evolution des pertes et des bénéfiques (CFA) en fonction des systèmes de culture : monoculture, bi-tri et multi spécifique traditionnel, raisonné et intensifié (1970).

(Losses and gains evolution of systems vs crop number (mono, bi, tri, multi Cropping-1970)).

comparés aux monocultures intensifiées ont été calculés aux valeurs de 1970 sur de nombreux essais (Valet, 1972 et 1976 ; Salez 1986 et 1990). De déficitaire en monoculture à l'exception des tubercules l'accroissement des bénéfiques est proportionnel au nombre de plantes par unité de surface (Fig. 7). De moins 18000CFA à 20000CFA en monoculture de maïs et arachide et 55000CFA pour les Macabos on obtient des gains de 125000CFA en association. La fertilisation raisonnée sur 3 espèces donne des bénéfiques inférieurs à la pratique traditionnelle. La dérégulation libérale obligeant le Cameroun a supprimer les subventions agricoles dans les années 80, suivi en 1994 de la dévaluation de 50% du CFA imposée par la BM, la disparition de la protection douanière puis de la baisse constante des cours mondiaux due à la « mondialisation » devrait encore creuser l'écart entre les bénéfiques obtenus dans les associations traditionnelles et celles des monocultures intensifiées au profit des premières (Valet, 2007).

4. Discussion

Les cultures associées multi spécifiques parce que conduites dans des parcs arborés parfois denses, et entre des haies, bénéficient d'abondants apports organiques, complétés par les adventices et résidus agricoles, mais aussi minéraux soit directement soit par remontée d'horizons profonds qui leur assurent une bonne qualité physico chimique et hydrique. Njoku et al. (1984.) ont démontré que les associations culturelles réduisaient le lessivage de l'azote et des nutriments. Cela s'apparente assez à la conservation qu'aurait une jachère, des plantes de couvertures associées à l'emploi d'un engrais vert dont les effets sur la productivité des sols sont reconnus depuis longtemps sous toutes les latitudes (Etesse, 1932). Cette forte quantité de matière organique et minérale et leur nature différente dont les BRF expliquent le raccourcissement de la durée réparatrice des jachères comme l'ont obtenue Salako et Tian (2001) au Nigeria et Autfray (2005) en Côte d'Ivoire avec une seule plante de couverture à bon niveau de matière organique. La préparation manuelle traditionnelle du sol qui crée un très bon ameublissement et une porosité totale supérieure à celle du labour mécanique, favorise l'implantation rapide des multiples systèmes racinaires en densité et en profondeur assurant une utilisation supérieure de l'eau du sol diminuant encore plus les risques d'engorgement mais aussi résistant mieux à la sécheresse. En effet, la compétition entre cultures est réduite et ce d'autant plus que les « assiettes radiculaires »

présentent des caractéristiques morphologiques et physiologiques différentes et complémentaires (Dupriez, 1980b). Ceci est confirmé par Hulugalle et al. (1987) qui signalent que le RER (Root Equivalent Ratio) des associations est supérieur, de l'ordre de 1,5 fois, à celui des mêmes monocultures et Autfray (2005) de 1.40 jusqu'à 100cm de profondeur de sol pour une association Sorgho-Bracharia. Le décalage des semis et les longueurs de cycle différents déplacent les besoins nutritionnels et hydriques qui ne se font pas aux mêmes époques, et les prélèvements en même quantité aux mêmes profondeurs (Baldy et Stigter, 1997). Ainsi Reddy et Willey (1981) ont démontré que deux plantes consomment seulement 10% de plus par unité d'hectare que chaque monoculture et Sinha et al., (1985) quatre plantes 28% de plus seulement. Trenbath (1976) a démontré que l'association culturale permettait une meilleure aération des racines en période de saturation du sol. Dans l'Ouest Cameroun chaque introduction de la monoculture a toujours été à l'origine, dès la première année, de la dégradation accélérée du milieu provoquant la destruction des équilibres bio-physico-chimiques avec apparition de ravines dans les écosystèmes respectés par les associations culturales traditionnelles (Peltier, 1989 ; Valet, 1999). L'ensemble de l'effet des techniques appliquées aux associations explique l'économie en intrants observé dans les essais de fertilisation (Trenbath, 1976). L'affinité maïs-haricot a été confirmée par Autfray (1995) et Kleitz (1988) qui relèvent même une affinité arachide-haricot. Par contre la répulsion maïs-arachide n'a pas été notée par ces auteurs qui ne signalent qu'une répulsion de l'arachide avec les arbres, musacées, café, taro et macabo. C'est cette même répulsion qui est observée avec l'association maïs-soja. Cet antagonisme s'expliquerait vraisemblablement par la concurrence pour la lumière et la photosynthèse (Clark et Francis, 1985). C'est ce qui pourrait expliquer en partie que cette association n'est pas été retenue par les paysans. Toutes ces caractéristiques de ces agro systèmes assurent un large éventail de services mutuels écologiques à l'échelle du champ, un fonctionnement accru des enzymes microbiens (Floch, 2008) ; des facilités d'interconnexions des mycorhizes (Hauggaard et Jensen, 2005) ; une meilleure résistance à la sécheresse (Jackson and al., 1989) ; une protection efficace contre l'effet érosif des pluies par leur interception par le feuillage et le couvert continu du sol qui empêchent toute formation de croûtes (Aussanac et Boulangeat, 1980 ; Valet, 2004) ; un microclimat plus atténué par la protection contre l'ensoleillement élevé et les fortes bourrasques (Cachan, 1963 ; Valet, 1974) ; la baisse et le contrôle des attaques des nématodes, pucerons et sclérotés, des champignons et des insectes (Chervonyl, 1999 ; Malézieux et al. 2009.) ; une économie de terre due à une utilisation maximum des terroirs en surface et dans le temps (Hecq, 1958). Cela concourt à une augmentation globale significative de la production agricole par unité de surface. Ce système est à rapprocher du « *jardin créole* » et du « *jardin forestier indonésien* » (Michon, 1985). Cet avantage des cultures associées multi stratifiées et en relais a été vérifié par Norman (1973) qui démontre qu'en valeur monétaire, dans les zones où l'intrant majeur est la main d'oeuvre familiale (non rémunérée), les cultures associées produisent en moyenne 62% de plus que les monocultures intensifiées/unité de surface en revenu brut. Il souligne qu'une association avec 4 composantes fournit un revenu brut supérieur de 15 à 20 fois celui de la mono culture intensifiée. On enregistre également un meilleur rendement nutritionnel (Dupriez, 1980a ; Salez, 1990 ; Dupriez et de Leener, 2003).

5. Conclusion

Cette étude confirme la supériorité des cultures multi stratifiées et en relais par rapport aux mêmes mono cultures intensifiées et ce d'autant que les espèces sont plus nombreuses, jusqu'à douze, ce qui avait déjà été démontrée sur tous les plans (Valet, 1976 ; Dupriez, 1980b ; GRET, 1982 ; Egger, 1986 ; Baldy et Stigter, 1996). Très denses et conduites dans des parcs arborés, parfois denses, et entre des haies, elles bénéficient d'abondants apports organiques qui permettent la réduction considérable d'intrants (engrais et biocides) et le raccourcissement des jachères. L'abondance d'espèces et de variétés de qualité différente apporte la meilleure formule spécifique de lutte contre le changement climatique (déficit et excès pluviométrique, tempête, nouvelles maladies et attaques), démographique et la « mondialisation ». Elle confirme aussi que les pratiques traditionnelles empiriques combinées à des pratiques savantes permettraient d'accroître voir de stabiliser des rendements soutenus tout en assurant aux écosystèmes la biodiversité nécessaire à leur conservation/réhabilitation. Toutefois, il est évident que tout « *développement ne peut se faire qu'à partir des cultures associées traditionnelles qu'il est impératif de connaître, par la mise en place de niveau d'intensification et de niveau d'équipement progressifs et adéquats (paliers technologiques)* » (Valet, 1976). Il faudra éviter un nouveau forçage de ces associations par une densité trop forte, des intrants excessifs et des mélanges antagonistes. Mais ces systèmes agraires innovants devront être choisis par les paysans et non subis. Ils devraient permettre également de maintenir les jeunes au pays.

Bibliographie

- Aussanac G. and C. Boulangeat, 1980.** Interception of precipitations and actual evapotranspiration in planting of leafy and coniferous trees. Ann. Sci. For. 37 :91-107.
- Autfray P., 2005.** Effets de litières sur l'offre en azote d'origine organique dans des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales Etude de cas dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat en Sciences du Sol. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France.
- Autfray P., 1985.** Cultures associées et systèmes de culture en pays bamiléké (Ouest-Cameroun). Centre Univ. de Dschang-CNEARC, mémoire 1ère année ESAT. 82p+annexe.
- Baldy Ch., 1963.** Cultures associées et productivité de l'eau. Ann. Agro. 14 (4) :484-534.
- Baldy C. and C.J. Stigter, 1997.** Agrometeorology of multiple cropping in warm climate. INRA, 147, rue de l'Université, 75338, Paris Cedex 07. p236.
- Cachan P., 1963.** Signification écologique des variations microclimatiques verticales dans la forêt sempervirante de basse Côte d'Ivoire. Ann. Fac. Sci. Dakar. 8 :88-155.
- Cattet R., 1996.** La légumineuse arbustive *Calliandra calothyrsus* comme protection des Andosols à la Réunion. Cahiers d'Agricultures et d'Etudes et de Recherches francophones. Aupelf-Uref (John Libbey Edit.). Vol. 5 N°3.157 -160.
- Chervonyl A. Y., 1999.** Rapport d'étape sur la technologie des BRF, utilisant le seigle comme référence pour les années 1997-98. N°107. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec GIK 7P4 Québec, Canada. 61 p.
- CIRAD, 2007. Lettre d'Information, N°22, octobre 2007.
- Clark E.A. and C.A. Francis, 1985.** Bean maize intercrops: A comparison of bush and climbing bean growth habits. Fields Crop Res. 11:151-156.
- de Ravignan Fr., 1969.** Etude de la production vivrière dans la ZAPI de Menguémé (Centre Sud du Cameroun). Doc. ronéoté MD 206. 24p.

- Duchaufour H., Ph. Guizol, M. Bizimana, 1996.** Avantage et inconvénients comparatifs de la haie mixte *Calliandra/Setaria* et du mulch comme dispositif antiérosif en milieu rural burundais. Bull. Réseau Erosion N°16, IRD Montpellier, France : 132-151.
- Dupriez H., 1980a.** Cultures associées ou monocultures ? Validité du savoir paysan. Cahier d'Etude du milieu et d'Aménagement du territoire. Environnement africain et Développement du Tiers-monde (ENDA). BP 3370 Dakar. Sénégal. 24p.
- Dupriez H., 1980b.** Paysans d'Afrique Noire. Terre et Vie. 256 p.
- Dupriez H. et Ph. de Leener, 2003.** Arbres et agricultures multiétagées d'Afrique. CTA, Terres et Vie. L'Harmattan, 7, rue de l'école Polytechnique, 75005, Paris. 280p.
- Egger K., 1986.** L'intensification écologique. Conservation (LAE) et amélioration des sols tropicaux par les systèmes agro-sylvo-pastoraux. p129-135. Docu. Syst. Agraires n°6 : Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production. Actes du III^{ème} Séminaire. Tome I. CIRAD BP 5035, 34032 Montpellier 16-19 déc. 1986. p115-127.
- Etesse M., 1932.** Etude sur le maintien de la fertilité des sols coloniaux par les plantes de couverture et les engrais verts. L'Agronomie Coloniale. N°173. Inst. Nat. d'Agro. Colon. ; Pp :163-180.
- Floch C., 2008.** Les enzymes du sol : Etude de leurs potentialités bio indicatrices de contamination par des métaux et des polluants organiques. Thèse. Université P. Cézanne, Aix-Marseille III. 226p.
- GRET, 1982.** Cultures associées en milieu tropical. Eléments d'observation et d'analyse. Dossier Technologies et Développement. Coop. Française, 34, rue Dumont d'Urville, 75116, Paris Cedex.75p.
- Haugaard-N & E.S. Jensen, 2006.** Facilitate root interactions in intercrops. Plant and Soil. 274:237-250.
- Hecq, 1958.** Le système des cultures Bashis et ses possibilités- Bull. agric. du Congo belge. XLIX. n°4. p 969.
- Hulugalle N. R. and S.T. Willatt, 1987.** Seasonal variation in the water uptake and leaf water potential of intercropped and monocropped chillies. Expl. Agric. 23 : 273-282.
- Jackson J.E., P.J.C. Hamer, and B. Jackson, 1989.** Water-balance and soil-water relation studies in mixed tree-crop-bare-soil systems. In W.E. Reifsnnyder and T.O. Darnhofer (eds) *Meteorology and Agroforestry*. ICRAF. Nairobi. Pp 431-442.
- Kalemba, L., N Ndoki, 1995.** Effets d'émondes d'arbustes et d'engrais minéral sur le rendement de niébé en cultures en couloirs.98. - p.231-237, In : *Recherche et développement dans les zones tropicales humides d'Afrique Centrale et de l'Ouest*. Montpellier : CIRAD. Symposium régional sur la recherche et le développement dans les zones tropicales humides d'Afrique centrale et de l'ouest Yaoundé, Cameroun, 12-04/1995-12-07.
- Karlen D.L., S.S. Andrews, J.W. Doran, 2001.** Soil quality: current concept and applications. pp.40. *Advances in Agronomy*. Vol. 74. Sparks, Eds. Elsevier press, San Diégo.
- Lemieux G., Lachance L., Stevanovic-Janezic T., 1999.** La structure des sols et le bilan du carbone : une fonction de l'effet de serre. Groupe de coordination sur les BRF. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec G1K 7P4 Québec, Canada. 8p.
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier Lafontaine H., Rapidel B., De Tourdonnet S., Valantin-Morison M.. 2009.** Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28 : 43-62.
- Mazoyer M., 1972.** Développement de la production et transformation agricole marchande d'une formation agraire en Côte d'Ivoire. Communication au Colloque sur les " *Stratégies de Développement économiques, Afrique et Amérique Latine* ". UN, Institut Africain de Développement économique et de planification, Dakar, sept. 1972.
- Michon G., 1985.** From forest dweller to tree growing farmer. Indonesian agroforestry. PH.D Thesis. USTL. Montpellier, 273p.
- Ndayizigiye F., 1993.** Effets des haies arbustives (*Calliandra* et *Leucaena*) sur l'érosion, le ruissellement et les rendements (Rwanda) Bull. Réseau Erosion, N°13, Montpellier, France : 41-51.

- Njoku B.O., Igbokwe M.C. and Ohiri A.C., 1984.** Leaching losses and recovery of fertilizer nitrogen in cassava/maize intercrop grown in lysimeter. *Proc. 6th Symposium Int. Soc. Trop. Root Crops.* 288p.
- Norman M. J. T., Pearson C. J. and Searl P. G. E., 1984.** The Ecology of tropical Food Crops. Cambridge Univ. Press. 369 pp. (Second Ed. 1995).
- Reddy MS., and R.W. Willey, 1981.** Growth and resource use studies in a intercrop of pearl-millet/groundnut. *Fields crop.Res.* 4:13-24.
- Salako et Tian , 2001.** Litter and biomass from planted and natural fallows on a degraded soil in southwesterne Nigeria. *Agroforestry Systems.* 51. 239-251.
- Salez P., 1986,** Quelques facteurs influençant le comportement du maïs et du soja cultivés en association. « Some factors influencing the behaviour of maize-soyabean intercrops ». Institut de Recherche Agronomique, Dschang, CAMEROUN. Vol. 41, n°2, pp. 101-109.
- Salez, P., 1990 .**Intérêt des associations culturales maïs-légumineuses dans l'Ouest du Cameroun : relation entre espèces associées « - p.123-139, Français In : Cereals of the semi-arid tropics. Stockholm : IFS, Regional seminar on cereal of the semi-arid tropics ** (Garoua, Cameroun). 1989-09-12/1989-09-16 (Réunion). CIRAD-IRAT IFS ** (Stockholm, Suède).
- Sinha A. K., Nathan A. K., et Singh A. K.. 1985.** Radiation climate and water-use studies in intercropping systems. *J. Nuclear Agric. Biol.* 14(2) : 64-69.
- Tardieu M, 1970.** Tentative dans la fertilisation des cultures associées. Séminaire Fondation Ford/IRAT/IITA sur les systèmes traditionnels de l'agriculture africaine et leur amélioration. IBADAN, 16-20 nov. 1970.
- Trenbath B.R., 1976.** Plant interactions in mixed crop communities. n : Papendick P.A. Sanchez and J.B. Triplett (eds). *Multiple cropping.* ASA. Madinson. Wisconsin. Spec. Pub. 27 :129-170.
- Valet S., 1966.** Le climat de Dschang. IRAT/DEVE-CIRAD, BP 5045, 34032, Montpellier. France. 12p.
- Valet S., 1967.** Recherche des carences minérales des sols de l'Ouest-Cameroun en vases de végétation. Colloque sur la Fertilité des sols tropicaux. Tananarive 19-25 nov. 1967.
- Valet S., 1974.** Note sur des observations et mesures de quelques facteurs climatiques, physiques et pédologiques et de leur incidence sur la production agricole à la station de Dschang (Cameroun). *Agro. Trop.* vol. XXIX, n°12, 1266 -1287
- Valet S., 1976.** Observations et mesures sur des cultures associées traditionnelles en pays Bamiléké et Bamoun. (Essais de fertilisation et de pré vulgarisation de fumures- Cameroun). IRAT, BP 99 Dschang-Cameroun. IRAT, BP 5045, 34032, Montpellier. France. 38p.
- Valet S., 1966-1971.** Rapports d'activité annuelle et rapports de synthèse. Miméo IRAT-BP 99, Dschang. Cameroun.
- Valet S., 1999.** Eco-développement durable par l'aménagement "minimaliste" des versants et le maintien des cultures associées : cas de l'Ouest-Cameroun. Colloque International " *L'homme et l'Erosion* ". IRD-CIRAD. BP 5045, Montpellier, 34032, France. 12-15/12 Yaoundé, Cameroun. 17p.
- Valet S., 2004.** Effet de la sécheresse sur les associations culturales vivrières de l'Ouest-Cameroun. *SECHERESSE* (J. Libbey Eurotext, 127, ave. de la République, 92120). N°4, Vol. 11 :239-247.
- Valet S., 2007.** Les associations culturales traditionnelles améliorées : Une alternative écologique à l'intensification agricole face au changement climatique, démographique et à la « mondialisation ». « *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi arides.* » Enfi-IRD-Auf. Réseau E-GCES de l'AUF. Conférence ISCO- 2007. E. Roose, J. Albergel, A. Laouina & M. Sabir Edit. pp : 152-163.

Le soja: une option pour rassasier les sols et les fermiers au Kenya

Vandeplass Isabelle^{a,b,c} *, Bernard Vanlauwe^b, Joseph Deckers^a, Roel Merckx^c

^a Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture (TSBF-CIAT), United Nations Avenue, P.O.Box 30677, Nairobi, Kenya

^b Division Soil and Water Management, Department of Earth and Environmental Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Celestijnenlaan 200 E, B-3001 Heverlee, Belgium

^c Division Soil and Water Management, Department of Earth and Environmental Sciences, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg 20, B-3001 Heverlee, Belgium

*Correspondance: E-mail: isabelle.vandeplass@ees.kuleuven.be, Tel: +32.1632.9721, Fax: +32.1632.9760

Résumé

La dégradation des sols et la baisse de leur fertilité sont des facteurs critiques pour la sécurité alimentaire en Afrique sub-saharienne. Les systèmes de productions basés sur des monocultures pures et exigeantes, comme le maïs, font partie des causes de ce problème. Les systèmes de rotations de maïs avec du soja, offrent de la nourriture humaine de qualité à court terme et nourrit le sol offrant des avantages à long terme. L'étude fut conduite au sud-ouest du Kenya, dans la région de Migori de 2006 à 2008. Le rendement des systèmes de rotation de soja et maïs fut comparé avec celui du maïs en monoculture, fertilisé ou non. Le soja fut planté en courtes saisons et fertilisé ou non avec des engrais minéraux et organiques. Le maïs fut planté en longues saisons seul ou en association avec des haricots ou du soja. La production en graines de maïs en longue saison du maïs non-fertilisé en rotation était comparable à celle du maïs fertilisé en monoculture et 30% plus élevé que celle du maïs en monoculture non-fertilisé en 2007, 90% en 2008. Vu qu'une autre variété de maïs fut utilisé à la demande des fermiers pendant les 2 années, nous ne pouvons pas tirer de conclusions définitives sur cette augmentation. L'impact de la fertilisation du soja précédent sur le rendement du maïs suivant n'était visible que pour le soja fertilisé d'une combinaison minéral+organique d'engrais, comme ½ DAP et ½ fumier ou ½ cendres et ½ fumier. Cette dernière étant facilement accessible aux fermiers. L'association de haricots diminuait légèrement les récoltes de maïs mais était économiquement plus intéressant et permet de partager les risques. Le soja en association ne diminuait pas les récoltes de maïs mais n'était pas très productif en graines de soja. Des rotations de soja permettent donc aux fermiers d'améliorer la qualité de leurs sols et de non-seulement de produire la même quantité totale de maïs par année en une seule saison, mais de plus de produire des graines de soja riches en protéines.

Mots-clés : Kenya, Rotation maïs-soja, Restauration productivité du sol, Alimentation humaine

1 Introduction

La dégradation des sols et la baisse de leur fertilité sont des facteurs critiques pour la sécurité alimentaire en Afrique Sub-saharienne. La pauvreté en est une des causes, car les petits producteurs n'ont pas le temps, les ressources ou les connaissances nécessaires pour remplacer les substances nutritives prélevées des sols lors des récoltes, ce qui se traduit par un déséquilibre négatif en substances nutritives. Aggravé encore par l'érosion rapide de ces sols fragiles pauvres en matières organiques, il est estimé que 60-100 kg d'azote (N), phosphate (P) et potassium (K) sont perdus par hectare chaque année (Stoorvogel et Smaling, 1990). De plus, la diminution de matière organique dans le sol à la suite de l'absence de jachère est estimée à approximativement 4% par année (Sanginga, 2003). Il est urgent de restaurer cet équilibre pour redresser la productivité et la qualité des terres à long terme et ainsi aider les petits producteurs à sortir du cercle vicieux de la pauvreté. Pour ce faire, il est important d'augmenter non seulement l'apport de substances nutritives (engrais minéraux) mais aussi d'ajouter de la matière organique aux sols. Celle-ci permet d'améliorer la capacité de stockage des substances nutritives et d'eau dans le sol, de réduire la fixation de phosphate et de réduire l'apparition de certaines pestes et maladies, et de stabiliser les sols (Vanlauwe, 2002).

Depuis 1920, la recherche en fertilité des sols s'est concentrée sur le potentiel de légumineuses comme le pois mascate (*Mucuna pruriens*) à récupérer les sols (Giller, 2001; Versteeg et al., 1998). Ces plantes fixent plus de 100 kg N ha⁻¹ d'azote de l'atmosphère en seulement 6 mois, retourné ensuite à la terre sous forme de biomasse. Néanmoins, l'adoption reste difficile pour les fermiers les plus pauvres car elle implique de sacrifier une partie de leur terre pour y planter une plante non-comestible (Sanginga et al., 2003; Versteeg et al., 1998). Malgré la baisse de la production de leurs terres, les technologies pour améliorer les sols ne sont pas la priorité des fermiers, mais plutôt celles qui leur apportent une bonne production alimentaire et source de revenus pour une main d'œuvre limitée (Snapp and Silim, 2002). Au début des années 70, l'IITA (International Institute for Tropical Agriculture, CGIAR) proposa donc de substituer ceux-ci par des légumineuses à graines comestibles, comme le soja. Le soja offre des graines riches en protéines de haute qualité comme source de nutrition équilibrée en plus de fixer l'azote de l'atmosphère. Bien que moins efficace en amélioration des sols que le pois mascate, car une partie de l'azote fixée est exportée du système sous forme de graines, le soja a été facilement accepté et apprécié par les fermiers dans plusieurs pays, comme le Nigeria, le Zimbabwe (Chianu et al, 2008 ; FAO, 2009b ; Mpeperekki and Pompei, 2003). Il y a eu un impact significatif en amélioration de la nutrition, augmentation des ressources financières, du capital humain, du bien matériel, et de l'équité sociale au sien des communautés (Sanginga et al., 1999). Les variétés de soja « promiscue à double-but » sont capables de fixer de l'azote avec des rhizobes non-spécifiques pour éviter la nécessité d'inoculer les sols. De plus, elles produisent non-seulement de bonnes récoltes de graines, offrant de la nourriture de qualité riche en protéines, mais aussi de bonnes quantités de biomasse, pour mieux nourrir les sols (Sanginga et al, 1996). Certaines variétés peuvent produire jusqu'à 2.5 tonnes de graines, 2.5-3 tonnes de biomasse et de fixer 44 to 103 kg N ha⁻¹ par année (Sanginga et al., 2003). Les rotations de ce type de soja et de maïs ont démontré pouvoir augmenter les récoltes de maïs d'1.2 à 2.3 fois comparé au maïs en monoculture (Carsky et al., 1997; Sanginga et al., 2003). Une mesure supplémentaire pour protéger le sol de l'impact de la pluie est de totalement couvrir la surface du sol en plantant une association dans le maïs. Les légumineuses comme le soja (*Glycine max*) et les haricots sont de bonnes associations car ils ne forment pas de compétition trop intense avec le maïs. Pour les fermiers, les associations offrent l'avantage additionnel d'offrir un tampon supplémentaire contre la malnutrition en cas de mauvaises récoltes (Snapp and Silim, 2002).

La région de Migori, au relief vallonné, se trouve au sud-ouest du Kenya. 70% des terres sont considérées arables, mais les sols sont pauvres en fertilité et peu profonds (Migori District Development Plan 2002-2008). De plus, l'érosion est un réel problème à la suite de l'exploitation agricole ainsi que la déforestation des monts suite à la grande demande en bois. Il est urgent de préserver la couche de sol encore présente, ainsi que d'améliorer la fertilité des sols. Néanmoins, il est crucial de faire cela avec un minimum de ressources, car 48% de la population qui y vit en dessous du seuil de pauvreté (Central Bureau of Statistics, 2003). L'accès aux engrais minéraux est limité à la suite du transport en commun restreint et coûteux, accentué par les prix des engrais qui ont presque triplé de mi-2007 à fin 2008 (IFDC, 2008 ; YARA International, 2009).

Nous avons pour cela aménagé des expérimentations de rotation de soja de type promiscue à double-but avec du maïs, pour analyser l'éventuel augmentation des récoltes de maïs en rotation. De plus, nous avons analysé l'impact d'associations de haricots, l'association traditionnelle dans la région, ou de soja dans ce système sur la productivité du maïs.

2 Matériel et Méthode

2.1 Description de la région

La recherche s'est déroulée dans la région de Migori, au Sud-ouest du Kenya (13°60'E - 0°46'S à 34°32'E - 1°02'S), vallonnée de 1135 à 1700m d'altitude. Les sols typiques y sont les Plinthosols, Cambisols, Acrisols sur un sous-sol de granite et Vertisols situés sur des intercalations de porphyrie et d'amphibolites (Custers and Deckers, 2007). La profondeur des sols y est limitée à la suite d'une couche de plinthisite qui se situe à certains endroits à seulement 40 cm de profondeur. Seuls les sols stables, sur les situations plateaux ou dans les vallons moins exprimés, atteignent une profondeur de 1 à 1.5 mètres (Custers and Deckers, 2007). Le climat tropical (18-32°C toute l'année) permet deux productions par an, pendant la longue saison des pluies (700-900mm) de février à juillet et la

courte saison de septembre à décembre (400-600mm) (Jaetzold and Schmidt, 1982). Le maïs est l'alimentation de base dans la région et les fermiers comptent surtout sur la longue saison de pluies pour en assurer la production. Pour cela, nous avons choisi de planter du soja en septembre pendant les courtes saisons et le maïs en mars pendant les longues saisons. La canne à sucre et le tabac sont les sources majeures de revenus des fermiers (Migori District Development Plan 2002-2008).

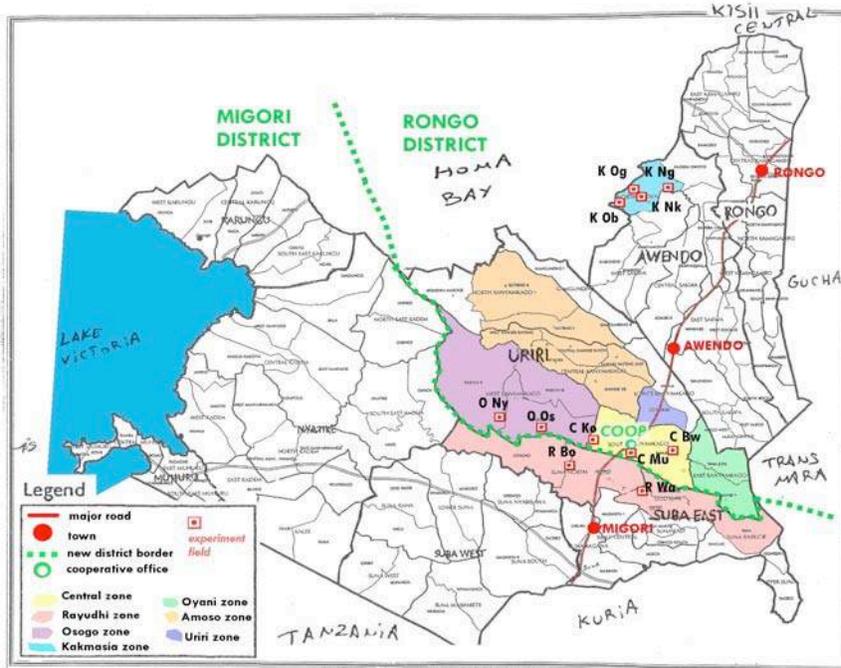


Figure 1:
Localisation des 7 zones de la coopérative de soja ainsi que les 11 champs utilisés dans l'expérimentation de rotation en 2007. Zone centrale : Bware (C Bw), Korondo (C Ko), Mukuyu (C Mu) ; zone de Kakmasia : Ogango (K Og), Nyangaya (K Ng), Nyakuru (K Nk), Oboke (K Ob) ; zone d'Osogo : Nyamage (O Ny), Osogo (O Os) ; zone de Rayudhi: Bonda (R Bo) et Wasio (R Wa).

2.2 Dispositif expérimental et traitements

Le choix des champs, des traitements, des sujets d'expérimentation ont été fait en collaboration avec les fermiers de quatre des sept zones d'activités de la coopérative « Uriri Farmer Cooperative Society » (Figure 1), Kakmasia, Central, Rayudhi et Osogo. Pendant la première année, l'expérimentation a été conduite sur 11 champs. En 2008, l'expérimentation fût continuée sur 5 champs restant. Les champs étaient composés de 16 à 25 parcelles, de 8 x 8 m à 10 x 10m, dépendant de la taille du champ mit à disposition par le fermier. Les traitements consistaient de rotations de soja pendant les saisons courtes et de maïs pendant les saisons longues, ou de monoculture de maïs.

Pendant les saisons courtes de 2006 et 2007, 2 des parcelles étaient plantés de maïs non-fertilisé de la variété *Kenya Seed Hybrid H513* à 25cm x 75 cm de densité pour servir de référence pour les rotations (Tableau 1). Une parcelle était plantée en 2006 de soja de la variété locale *Nyala* et en 2007 de la variété *TGx 1448-2E (SB20)*, tous deux sans engrais. Les autres consistaient de soja de la variété *Namsoy* à 5cm x 45cm de densité, fertilisé de 20kg P ha⁻¹ ou non. Les traitements pour le soja *Namsoy* étaient 1) non fertilisé; 2) di-ammonium phosphate (DAP); 3) ½ DAP et ½ fumier; 4) fumier; 5) cendres; 6) ½ cendres et ½ fumier. En 2007, le traitement de cendres (5) a été exclu. Plus de détails sont disponibles dans Vandeplas *et al.* (soumis). Les résidus de soja étaient partiellement retournés dans les champs.

Tableau 1: Traitements secondaires de rotation de soja et maïs, planté seul ou en association / (-) = sans engrais / (+) = maïs fertilisé : application de DAP (20kg P et 20 N ha⁻¹) en plantant et d'urée (46 kg ha⁻¹ N) à 2 semaines après planter / DAP, fumier, et cendres appliquées sur le soja au moment de planter (20kg P) / (n) = nombre de champs / CS = courte saison, de septembre à décembre, LS = longue saison, de mars à juillet.

CS 2006 (n = 9, sauf indiqué)	LS 2007 (n = 9)	CS 2007 (n = 6)	LS 2008 (n = 5)	
Maïs H513 (-)	→ Maïs H513 (-)	→ Maïs H513 (-)	→ Maïs local (-)	Analyse 1: - Rotation
Maïs H513 (-)	→ Maïs H513 (+)	→ Maïs H513 (-)	→ Maïs local (+)	
Soja Nyala (-) (n = 7)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)	→ Soja SB20 (-)	→ Maïs local (-) → Maïs + Namsoy (-)	
Namsoy (-)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)	→ Namsoy (-)	→ Maïs local (-) → Maïs + Namsoy (-)	
Namsoy (Choix du fermier)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)	→ Namsoy (Choix du fermier)	→ Maïs local (-) → Maïs + Namsoy (-)	
Namsoy (DAP)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)	→ Namsoy (DAP)	→ Maïs local (-) → Maïs + Namsoy (-)	
Namsoy (DAP+fumier)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)	→ Namsoy (DAP+fumier)	→ Maïs local (-) → Maïs + Namsoy (-)	
Namsoy (fumier)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)	→ Namsoy (fumier)	→ Maïs local (-) → Maïs + Namsoy (-)	
Namsoy (cendres+fumier) (n = 4)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)	→ Namsoy (cendres+fumier)	→ Maïs local (-) → Maïs + Namsoy (-)	
Namsoy (cendres) (n = 3)	→ Maïs H513 (-) → Maïs + Haricot (-)			

Analyse 2:
- Engrais soya
- Association

Pendant les saisons longues, le champ entier était planté de maïs à 25cm x 75cm, de la variété *Kenya Seed Hybrid H513* en 2007 et à la demande des fermiers d'une variété locale en 2008. Vu que peu d'entre eux utilisent le maïs hybride, ils trouvaient les expérimentations peu représentatives. Une des parcelles servant de référence pour le maïs en monoculture, a reçu 20kg P et 20 N ha⁻¹ sous forme de DAP en plantant et 46 kg ha⁻¹ N sous forme d'urée à 2 semaines après plantation. Il en résulte donc trois traitements principaux de maïs : le maïs en monoculture sans engrais « Maïs (-) => Maïs (-) », le maïs en monoculture fertilisé de 20kg P ha⁻¹ et 66kg N ha⁻¹ pendant les longues saisons de pluies seulement « Maïs (-) => Maïs (+) » et du maïs non fertilisé en rotation avec du soja « Nams (-) => Maïs (-) », de variété *Namsoy*, *Nyala* ou *SB20*. En demande des fermiers, les parcelles de rotation soja-maïs ont été divisées en deux demi-parcelles. La moitié supérieure plantée avec seulement du maïs, la moitié inférieure en association avec une variété locale d'haricots en 2007 et avec du soja en 2008 à raison d'une graine de haricot ou soja entre chaque 2 plants de maïs dans les rangs.

2.3 Collecte et analyse des données des récoltes

Les récoltes de grains et de biomasse maïs, soja et haricots ont été effectuées sur les demi-parcelles et analysés séparément pour le maïs seul et en association. Dans chaque demi-parcelle le nombre de chaque plante a été compté le jour de la récolte ainsi que le nombre de parasites *Striga*. L'analyse des rendements en grains et paille a été effectuée en REML avec la procédure MIXED de SAS, ségréguée par année (SAS, 2004). La séparation des moyennes a été effectuée avec le test de Tukey-Kramer au seuil de 5%. La première analyse inclut comme seul paramètre du modèle le traitement complet du cycle de la rotation et concerne seulement les parcelles de maïs planté seul, précédés par du maïs ou soja (*Nyala*, *SB20* et *Namsoy*) non fertilisé (Tableau 1). La seconde analyse concernait seulement le maïs en rotation, seul ou en association, précédé par le soja *Namsoy* sous différents engrais. L'analyse comprend les paramètres « engrais », « association », et « engrais * association ». Les covariants

utilisés dans le modèle incluent deux facteurs qui relatent de la chimie et texture des sols créés par analyse en composantes principales (ACP) qui tiennent en compte 74% de la variabilité totale des caractéristiques des sols.

Le temps de travail nécessaire à la production du soja et du maïs a été mesuré dans les champs durant les expérimentations. Le coût des engrais et le prix de vente des grains ont été collectés dans les marchés locaux et auprès des fermiers. Le prix de la main d'œuvre a été demandé aux fermiers pour différents moments de l'année. Ces prix ont été utilisés pour une analyse de coût et de profit, basée sur les récoltes du deuxième cycle de rotation (CIMMYT, 1988).

Une réunion a été organisée avec les fermiers pendant la croissance du maïs en 2007 et 2008, dans chaque zone d'expérimentation. Pendant cette journée les fermiers techniciens ont expliqué le dispositif expérimental et les traitements différents à leurs voisins. Les fermiers ont ensuite voté avec des cartons de votes dans des boîtes, pour le traitement qu'ils trouvaient le meilleur, le pire ou moyen : le maïs en monoculture sans engrais « Maïs (-) => Maïs (-) », le maïs en monoculture fertilisé de 20kg P ha⁻¹ et 66kg N ha⁻¹ pendant les longues saisons de pluies seulement « Maïs (-) => Maïs (+) » ou le maïs non fertilisé en rotation avec du soja « Nams (-) => Maïs (-) » Des cartons de couleurs différentes étaient utilisés pour les hommes âgés, les jeunes hommes et les femmes. Les votes ont été analysés visuellement, utilisant des moyennes de votes par groupe de genre et par zone. Pour l'analyse statistique, les votes de « pire traitement » ont reçu une valeur « -1 », les votes de « meilleur traitement » une valeur « +1 », et ont été analysés avec le procédé MIXED de SAS, avec comme covariant le « champ dans lequel le vote a été effectué », et comme paramètres : « traitement de rotation », « traitement de rotation* genre/âge de la personne », « traitement de rotation* zone d'origine de la personne »; « traitement de rotation * année du vote ».

2.4 Analyses des sols et du climat dans les champs d'expérimentation

Les sols dans les sites expérimentaux consistaient en plusieurs Plinthosols, quelques Acrisols, et des sols associés, tous de caractéristique Magniférique, plusieurs Pisolitiques et Plinthique, et la majorité peu profonds. Les sols de 0-15 cm de profondeur étaient composés de limon, allant du limon sablonneux à argileux (Tableau 2). Les analyses ont été effectuées selon les procédures de routine du TSBF-CIAT (Anderson and Ingram, 1993; Olsen et al., 1954; Bouyoucou, 1951). Avant les expérimentations, les sols contenaient entre 0.76 et 1.41 mg N kg⁻¹ et moins de 10 mg P kg⁻¹ dans la majorité des champs.

Tableau 2: Caractéristiques chimiques des sols de surface (0-15cm), texture et classe WRD des sites d'expérimentation (adapté de Vandeplas et al, soumis)

	pH	Soil org C	Tot. Soil N	Olsen P	Exch Ca ²⁺	Exch Mg ²⁺	Ech K ⁺	USDA texture*	WRD Soil Class**, ***	WRB Qualifiers**, ***	Soil depth (cm)***	Slope % ***
	(H ₂ O)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	cmolkg ⁻¹	cmolkg ⁻¹	cmol kg ⁻¹					
					1	1						
Central zone												
Bware (C Bw)	5.3	10.27	1.16	2.9	5.0	1.6	1.3	Loam	Plinthosol	Pisolithic Manganiferic	60	5 %
Korondo (C Ko)	5.5	12.57	1.41	2.6	5.8	2.2	1.2	Clay Loam	Acrisol	Plinthic Magnaniferic	90	5-8 %
Mukuyu (CMu)	5.6	13.85	1.44	17.5	6.5	1.9	1.2	Loam	Plinthosol	Endopetric Pisolithic Magnaniferic	60-80	8-15 %
Kakmasia zone												
Nyangaya (KNg)	5.2	9.92	1.11	1.3	3.0	0.7	0.4	Clay Loam	Fluvisol	Stagnic	75	6 %
Nyakuru (KNk)	6.2	7.85	0.84	11.8	4.6	1.0	1.1	Sandy Loam	Plinthosol	Epiarenic Pisolithic Manganiferic	90	7 %
Oboke (KOb)	5.8	6.87	0.78	5.9	3.7	0.8	0.7	Sandy Loam	Arenosol	Pisoplinthic Endoskeletal Manganiferic	20-25	4-6 %

Ogango (K Og)	4.8	7.28	0.77	2.8	1.8	0.2	0.3	Sandy Loam	Leptosol	Stagnic Plinthic Manganiferic	10	8-16 %
Osogo zone												
Nyamage (ONy)	5.6	12.74	1.14	2.3	4.7	1.7	1.1	Sandy Clay Loam	Plinthosol	Pisolithic Colluvic Manganiferic	100	10 %
Osogo (OOs)	5.4	8.26	1.08	1.3	3.8	2.0	0.8	Clay Loam	Regosol		50	8-10 %
Rayudhi zone												
Bonda (RBo)	5.7	12.47	1.22	7.5	5.7	2.2	0.9	Loam	Stagnosol	Pisoplinthic Albic Manganiferic	40-70	4 %
Wasio (RWa)	5.9	13.82	1.14	4.0	6.5	2.6	0.9	Clay Loam	Acrisol	Manganiferic	130	10-13 %

* Soil Survey Staff USDA, 2006 // ** IUSS Working Group WRB, 2006 // *** Custers et Deckers, 2007

Les pluies des deux saisons de maïs étaient problématiques. En 2007, il y a eu une période de sécheresse en juin (pluie < ET°), ainsi qu'un surplus de pluies au moment de la récolte en juillet (Figure 2). En 2008, Les pluies des champs situés plus au Nord (zone de Kakmasia : K Ob, K Nk, K Ng) on eu une saison avec peu de pluies, et avec exception du mois de mai, un déficit d'eau chaque mois (pluie < ET°). Les autres ont subi un manque de pluies en juin. Le programme de simulation de récoltes AQUACROP (FAO, 2009a) a été utilisé pour évaluer si la variation des pluies en 2007 et 2008 avait un impact différent sur les récoltes de maïs pendant ses deux années. Les paramètres du maïs et des sols de référence du programme ont été ajustés par des valeurs indicatives de fertilité des sols, profondeur des sols et phénologie. La simulation AQUACROP indique une perte de récoltes similaire due aux pluies de 2007 et 2008.

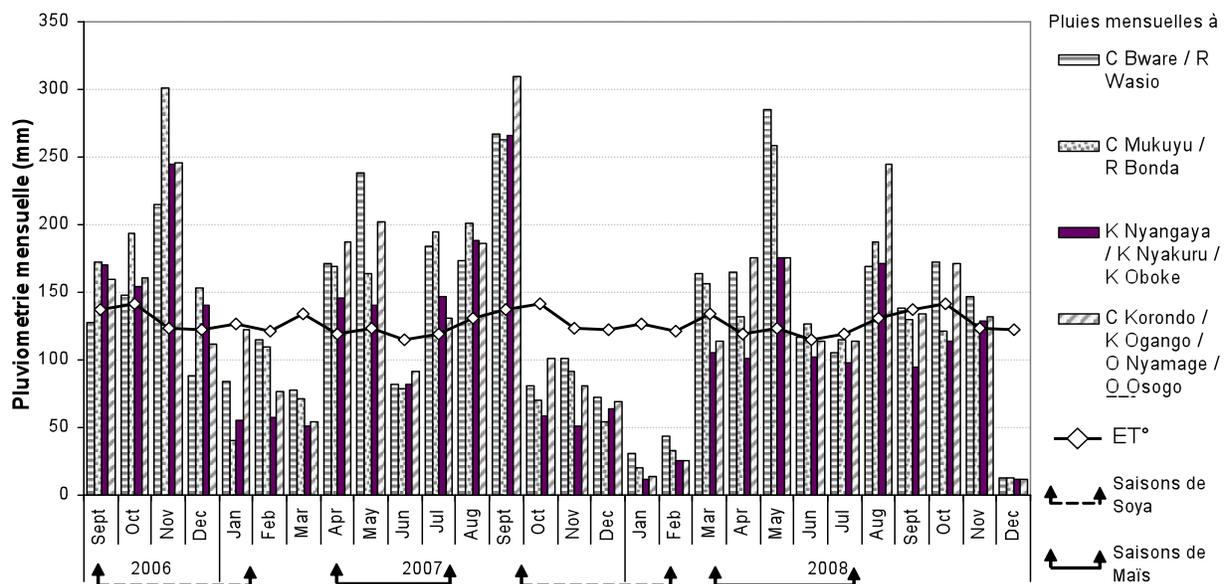


Figure 2: Pluviosité et évapotranspiration dans les sites expérimentaux de 2006 à 2008, avec indication des saisons de soja et de maïs.

En 2007, deux des 11 champs n'ont pas produit de maïs. Dans le champ d'Ogango (K Og) le maïs ne poussa pas à la suite d'eau de pluie stagnante en début de saison sur le Leptosol peu profond (10cm). Dans le champ de Nyangaya (K Ng) le maïs fût mangé par des vaches avant d'avoir produit des graines.

3 Résultats

3.1 L'impact de la rotation sur le rendement du maïs planté seul

Les rendements de maïs étaient en général très bas, probablement dus aux pénuries de pluies. La variété locale de maïs (2008) produit moins que la variété Hybride 513 de Kenya Seed. Le traitement de rotation a eu un impact significatif sur les récoltes de grains et paille de maïs en 2007 ($Pr > F < 0.0001$) ainsi qu'en 2008 ($Pr > F 0.0015$ et < 0.0001 respectivement) (Figure 3). Le rendement en grains du maïs (1277 kg ha^{-1} en 2007; 999 kg ha^{-1} en 2008) en monoculture fertilisé « Maïs (-) => Maïs (+) » était similaire au rendement du maïs (1212 kg ha^{-1} en 2007; 974 kg ha^{-1} en 2008) non-fertilisé mais précédé par le soja *Namsoy* « Nams (-) => Maïs (-) ». En 2007, le rendement du maïs « Maïs (-) => Maïs (+) » et « Nams (-) => Maïs (-) » était plus élevé de +/- 300 kg ha^{-1} que celui du maïs en monoculture non-fertilisé « Maïs (-) => Maïs (-) ». En 2008, cette différence devint +/- 460 kg ha^{-1} et statistiquement significative pour « Maïs (-) => Maïs (+) » (Adj P 0.011) et « Nams (-) => Maïs (-) » (Adj P 0.037). Les rotations avec les variétés de soja *Nyala* et *SB20* n'offraient pas plus de récolte de maïs que « Maïs (-) => Maïs (-) ».

En analyse statistique, l'apparition de *Striga* dans les parcelles semblait significativement réduite par la rotation de soya en 2008 ($Pr > F 0.0002$). Néanmoins, ceci était dû à une très grande différence en *Striga* entre les parcelles de maïs et de rotation dans le champ de Bonda (Figure 4). Il est fort possible que cette différence ait d'autres raisons que celle de la rotation.

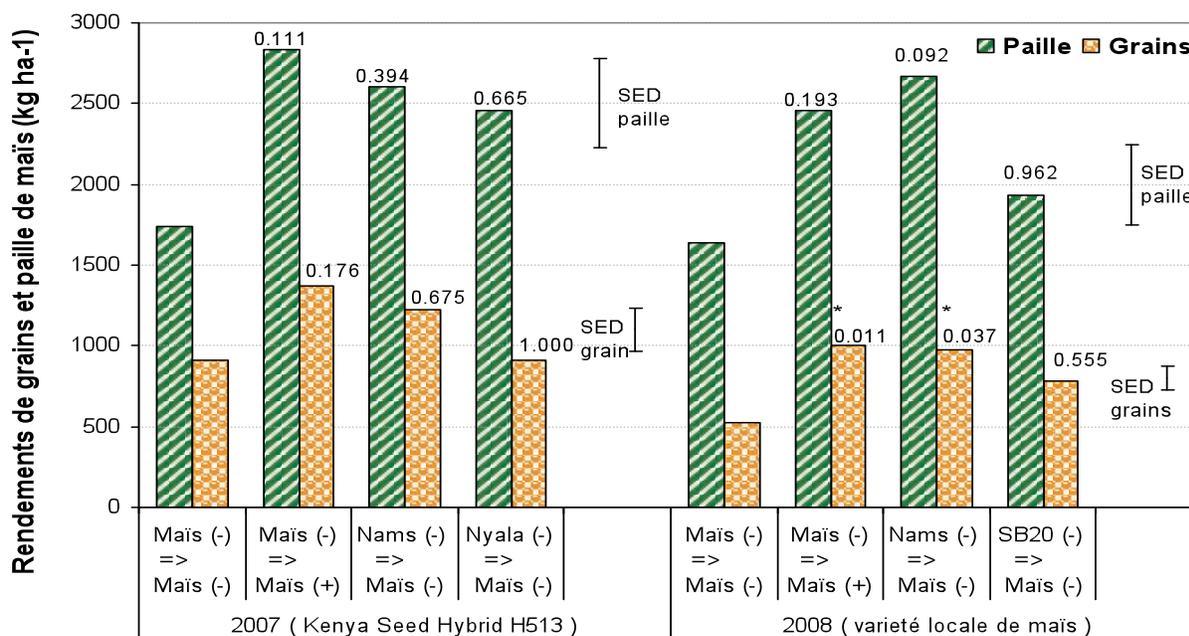


Figure 3: Rendements de grains et paille de maïs (kg ha^{-1}) pendant les longues saisons de pluies de 2007 et 2008, sous les différents traitements de rotation ou de monoculture. Maïs(-)=>Maïs(-): monoculture de maïs sans engrais; Maïs(-)=>Maïs(+): monoculture de maïs sans engrais pendant la courte saison et fertilisé de 20 kg ha^{-1} P et 66 kg ha^{-1} N en saison longue; Nams(-)=>Maïs(-), Nyala(-)=>Maïs(-), SB20(-)=>Maïs(-) : rotation de soja *Namsoy/Nyala/SB20* en courte saison avec du maïs en longue saison sans engrais. SED = Erreur Standard de Différence entre les traitements. Les chiffres indiquent l'AdjP de la comparaison avec Maïs (-) => Maïs (-) par le test de Tukey-Kramer au seuil de 5%.

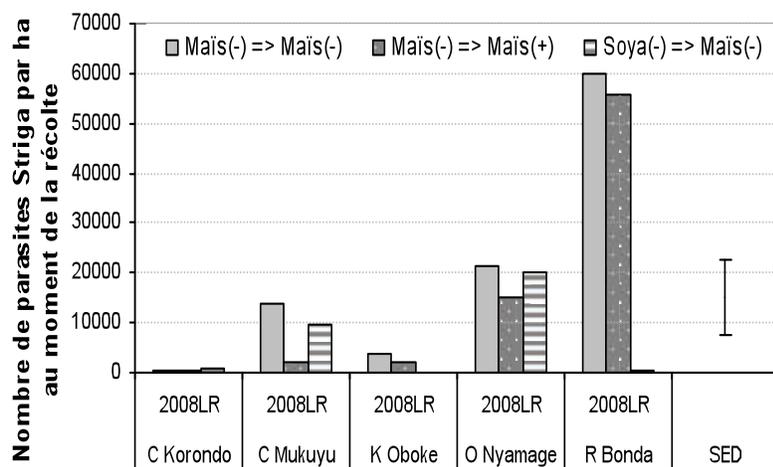


Figure 4: Nombre de parasites Striga par hectare dans les parcelles des traitements de rotation ou de monoculture au moment de la récolte. SED = Erreur Standard de Différence entre les traitements. Maïs(-)=>Maïs(-): monoculture de maïs sans engrais; Maïs(-)=>Maïs(+): monoculture de maïs sans engrais pendant la courte saison et fertilisé de 20kg ha⁻¹ P et 66kg ha⁻¹ N en saison longue; Nams(-)=>Maïs(-): rotation de soja Namsoy en courte saison avec du maïs en longue saison sans engrais.

3.2 L'impact de la fertilisation du soja précédent et de l'association

En considérant uniquement les traitements de rotation de soja *Namsoy* et maïs seul ou en association on observe que les engrais utilisés pour le maïs pendant la courte saison CS 2006 n'avaient pas d'impact significatif sur le rendement de grain ($Pr > F 0.6777$;

Figure 5) ou paille ($Pr > F$; non-illustré) de maïs pendant la longue saison LS 2007. Par contre pendant le deuxième cycle de la rotation, l'application d'engrais sur le soja en CS 2007 avait un impact significatif sur le rendement de grains ($Pr > F 0.0277$) et de paille ($Pr > F 0.0181$) du maïs suivant en LR 2008. La fertilisation du soja par une combinaison d'engrais (fumier + DAP ou fumier + cendres) pendant les courtes saisons améliore le rendement du maïs suivant (

Figure 5). Pendant les deux saisons le maïs précédé par la parcelle de soja géré par le fermier avait un rendement légèrement inférieur à celui précédé par les parcelles de soja plantées selon les distances standard 0.25 cm x 0.05 cm. Les fermiers ont commenté qu'ils préfèrent l'espacement utilisé dans les expérimentations, mais que celui-ci est plus difficile à obtenir en plantant avec des bœufs.

L'association de maïs avec des haricots pendant la LS 2007 réduit significativement le rendement de grains ($Pr > F < 0.0001$) et de paille ($Pr > F < 0.0001$) de maïs. L'association de maïs avec du soja *Namsoy* pendant la LS 2008 n'avait pas d'impact significatif sur le rendement de maïs (

Figure 5).

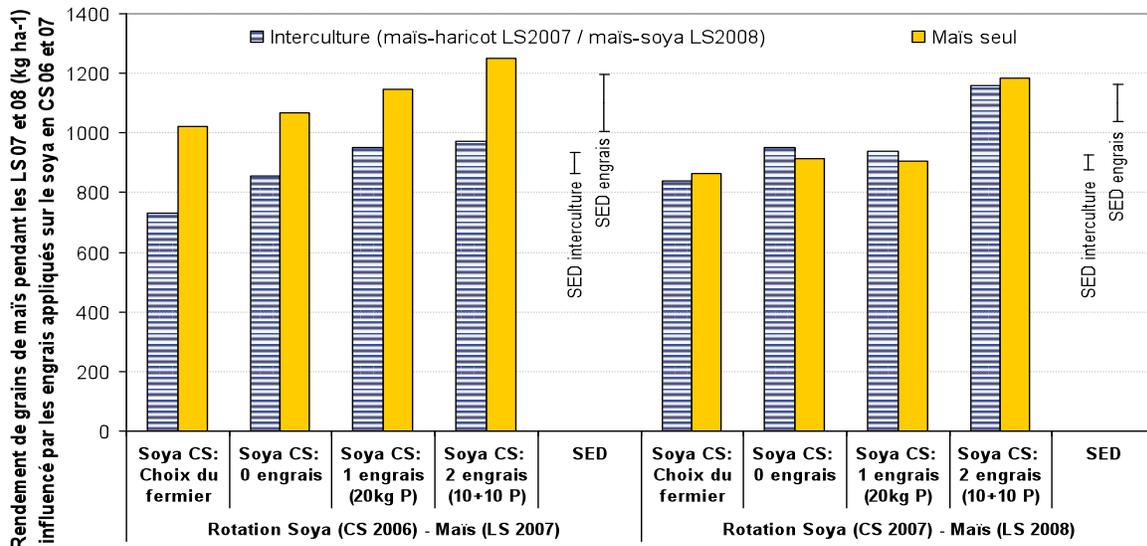


Figure 5: Rendement en grains de maïs (longue saisons LS de 2007 et 2008) influencé par les engrais appliqués sur le soja *Namsoy* précédent (pendant les courtes saisons CS de 2006 et 2007). Le maïs en LS étant planté en association (avec des haricots en 2007 et avec du soya en 2008) ou planté seul; le soya en CS étant planté par le fermier (choix du fermier), non-fertilisé (0), fertilisé d'un engrais (1 : DAP, fumier, cendres) à 20kg P ha⁻¹ ou d'un mélange d'engrais (2 : DAP+fumier, cendres+fumier). Ref. du fermier = une parcelle sur laquelle le fermier était libre de planter du soya *Namsoy* à sa façon pendant les courtes saisons. SED = Erreur Standard de Différence entre les traitements.

3.3 Analyse économique et préférences des fermiers

La production de soja est comparativement plus coûteuse en main d'œuvre que la production de maïs (Figure 6, courte saison). Par contre, cet investissement supplémentaire en main d'œuvre permet d'épargner un coût bien plus élevé en engrais minéraux la saison suivante (Figure 6, longue saison : « Maïs (-) => Maïs (+) » comparé à « Soja (-) => Maïs (-) »). L'application d'engrais locaux (cendres et fumier) sur le soja pendant les saisons courtes permet, pour quelques jours de travail en plus mais sans frais d'argent supplémentaire, de produire de plus grandes quantités de grains et biomasse de soja pendant les courtes saisons (Vandeplas et al, soumis) et ainsi d'augmenter la production de maïs pendant la saison suivante (« Soja (-) => Maïs (-) » comparé à « Soja (CF) => Maïs (-) »). L'association du maïs avec des haricots ou du soja offre une opportunité pour augmenter les revenus totaux sur un même morceau de terre.

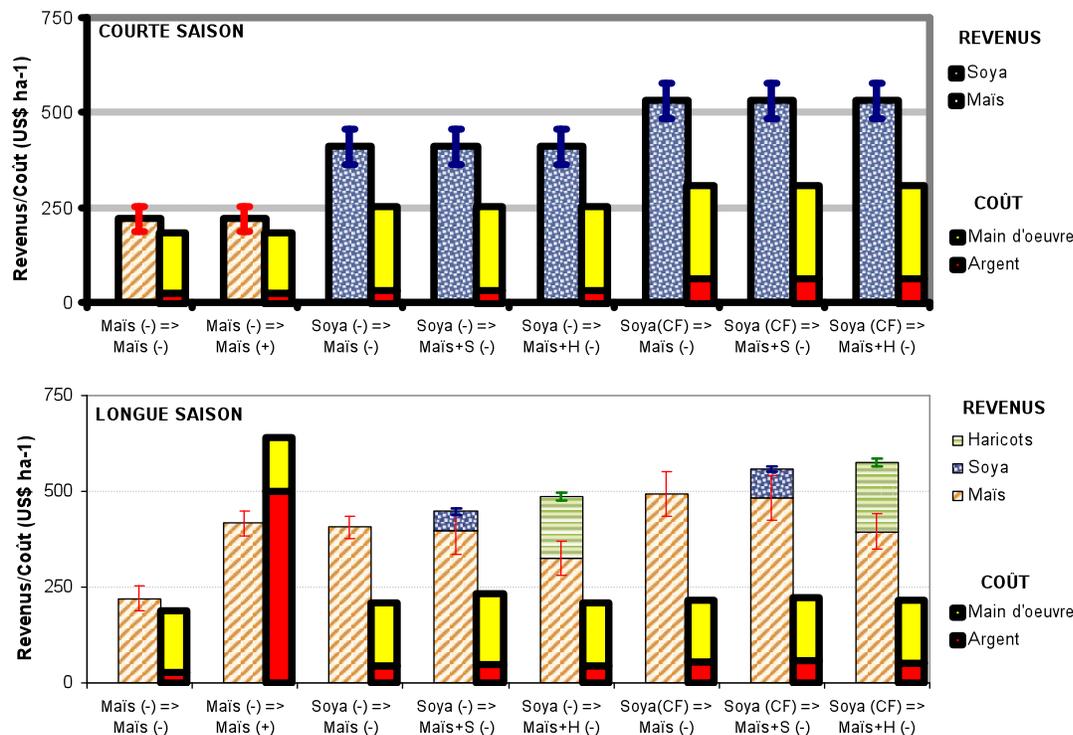


Figure 6: Revenus de la vente des grains au marché et coût total de production en argent et en main d'œuvre pour les courtes saisons et longues saisons de monocultures ou rotations. « Maïs (-) » : maïs (sans engrais); « Maïs (+) » : maïs avec application de DAP et d'urée (20 kg ha⁻¹ P et 66kg ha⁻¹ N); « Maïs+S (-) » : maïs en association avec du soja (sans engrais); « Maïs+H (-) » : maïs en association avec des haricots (sans engrais); « Soja (-) » : soja *Namsoy* (sans engrais); « Soja (CA) » : soja *Namsoy* fertilisé avec 10kg P de cendres et 10kg P de fumier. Les résultats sont basés sur les récoltes de maïs de variété locale en 2008. Le prix du marché de 2008 a été utilisé pour l'achat des engrais et le prix de vente du maïs et les haricots. Le prix d'achat par la coopérative a été utilisé pour le soja. Le coût de la main d'œuvre était considéré par journée de 8 heures le plus bas au moment de la récolte et le plus élevé au moment du désherbage.

Les fermiers ont un avis partagé pour l'efficacité des systèmes de rotation (Figure 7). Il n'y avait pas de différence significative entre les votes des hommes et des femmes (résultats non illustrés). La grande majorité des votes négatifs étaient données au maïs en monoculture non-fertilisé. Nombreux sont ceux qui font confiance aux engrais minéraux comme solution pour obtenir de bonnes récoltes. Néanmoins, le système de rotation de soja et maïs a obtenu légèrement plus de votes positifs que la monoculture de maïs fertilisée. Les fermiers ajoutèrent que plusieurs facteurs sont bénéfiques: premièrement la rotation en elle-même et l'introduction de N dans le sol par le soja, deuxièmement une réduction de l'apparition du *Striga*, troisièmement un effet dû aux résidus d'engrais appliqués sur le soja pendant les courtes saisons. Les explications des fermiers pour leurs votes négatifs pour l'engrais chimiques étaient que le DAP stimule le *Striga* et que l'utilisation d'engrais chimique est bénéfique pour la saison à laquelle ils sont utilisés mais réduit la récolte suivante. De plus, l'aspect financier est un problème. Des fermiers ajoutèrent que en essayant de rassembler l'argent pour les engrais minéraux il y a le risque de planter trop tardivement et donc manquer de pluies.

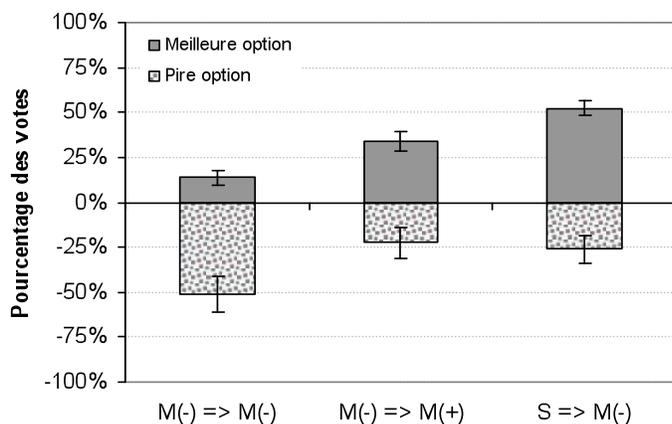


Figure 7 : Pourcentage des fermiers (n = 115) qui ont voté pour le traitement qu'ils trouvaient le pire ou le meilleur, en observant les plants de maïs dans les champs pendant les saisons longues en mai 2007 et juin 2008. M(-) => M(-) : monoculture de maïs sans engrais; M(-) => M(+): monoculture de maïs sans engrais pendant les courtes saisons mais avec application de 20 kg ha⁻¹ P et 66 kg ha⁻¹ N en saison longue; S => M(-) : rotation de soja en courte saison avec du maïs en longue saison sans engrais. Les barres d'erreurs indiquent la différence standard des pourcentages de votes pendant les 5 sessions (3 en 2007 et 2 en 2008).

4 Discussion

4.1 Effet de la rotation avec le soja sur le rendement de maïs

Les récoltes de maïs hybride Kenya Seed H513 en 2007 suivant le soja *Namsoy* en rotation étaient similaires à celles du maïs en monoculture fertilisé de DAP et urée (20kg P ha⁻¹ et 66kg N ha⁻¹) et 30% plus élevée que les récoltes de maïs en monoculture non-fertilisé. En 2008, malgré les récoltes généralement plus basses de la variété locale, cette différence était de 90%. Des augmentations de récoltes rapportées par d'études préalables à la suite de rotation de soja et maïs sont similaires varient d'étude en étude. Sanginga (2003) et Sanginga et al. (2000) rapportent une augmentation de 20-25%, Carsky et al. (1997) de 80% et Misiko (2007) de 100%. Misiko en tire la conclusion que grâce aux rotations soja-maïs, la récolte de maïs normalement obtenue en 2 saisons peut être récoltée en une seule saison. Cette étude-ci confirme cette observation (+90%) car le maïs planté en courte saison est généralement moins productif qu'en longue saison de pluies. Le soja obtenu pendant la courte saison est donc un gain net du système. Il n'y avait pas d'effet significatif de rotation avec des variétés de soja *Nyala* et *SB20*. Pour le soja *Nyala*, ce résultat était prévisible, car cette variété locale n'est pas promiscue. Le soja « promiscue à double bût », comme *Namsoy* et *SB20*, n'est capable de noduler effectivement avec les rhizobes indigène qu'à partir de la deuxième saison sur la même terre (Sanginga, 2003; Osunde et al., 2003). Un deuxième cycle de rotation avec *SB20* produirait probablement plus de biomasse comme fût le cas pour le soja *Namsoy* (Vandeplas et al, soumis).

L'augmentation des récoltes de maïs à la suite de la rotation au soja est partiellement due seulement à la fixation d'azote dans l'air par le soja. Des balances de N de - 8 à + 47 kg N ha⁻¹ ont été rapportées par Sanginga et al. (1997). La balance de N après la récolte du soja n'est pas toujours positive et dépend du génotype de soja utilisé (Sanginga et al., 2003), de sa durée de croissance (Singh et al., 2003), de la présence ou non de rhizobes appropriés, de la fertilité des sols, du climat, de la gestion du champ, et de la proportion de biomasse de soja laissé sur le sol (Peoples et al., 1995). (Osunde et al., 2003) mesura une balance de N de -52 à -95 kg N ha⁻¹ quand toutes graines et biomasse étaient exportées des champs. Dans cette étude-ci, les résidus du soja n'étaient laissés dans les champs que partiellement, pour imiter la pratique courante des fermiers. Pendant une réunion, 23% des fermiers ont dit laisser tous les résidus dans les champs, 10% ont dit ramener les résidus chez eux pour nourrir les animaux et 60% ont dit laisser une partie seulement dans les champs (Vandeplas, non publié).

D'autres effets ont donc un impact sur l'amélioration des récoltes que le retour de N par les résidus de biomasse. Premièrement, en utilisant une partie d'azote de l'atmosphère, le soja épargne le l'azote du sol (Peoples et al., 1995). L'azote présent dans les racines du soja a été estimée à 10-19% de l'azote présent dans les parties aériennes. Elle se libère partiellement pendant la croissance devenant disponible aux associations; partiellement pendant la décomposition (Sanginga et al., 1997; Abaidoo et al., 1999). La rotation permet de réduire l'apparition de mauvaises herbes (Chikoye et al., 2007), et du parasite *Striga hermonthica* (Carsky et al, 2000). La réduction du *Striga* n'était

pas conclusive dans cette étude-ci à la suite du nombre limité de champs utilisés pendant l'année 2008. Il est estimé que le *Striga* réduit les récoltes de maïs de 80% (Ransom et al, 1990). L'accroissement des pratiques de monoculture en Afrique Sub-saharienne, permet au parasite de se reproduire fréquemment et augmente le nombre de graines de *Striga* dans le sol comparé aux systèmes de rotation (Oswald and Ransom, 2001). Finalement, il est supposé que les légumineuses causent d'autres effets qui facilitent l'extraction de nutriments dans le sol par le maïs suivant (Sanginga et al., 2002).

4.2 Rendre la rotation avec le soja plus effective et accessible

Deux options ont été testées pour rendre la rotation avec le soja plus accessible et plus bénéfique pour les fermiers : ajouter des engrais locaux (cendres + fumier, à raison de 10kg P par hectare de chaque) ou ajouter une association de soja ou haricots dans le maïs.

La fertilisation aux engrais locaux permet aux fermiers de produire des récoltes de soja 27%-51% plus élevés que sans engrais et similaires à celles du soja fertilisé par des engrais minéraux (Vandeplas et al, soumis). Il était attendu que le soja fertilisé et donc ayant une récolte de grains et biomasse plus élevée pendant la courte saison, ait aussi un impact plus élevé sur le rendement du maïs suivant (Misiko, 2007 ; Ogoke et al, 2003). Néanmoins, cet impact n'était visible que pour le soja fertilisé d'une combinaison d'engrais DAP + fumier ou cendres + fumier. De tous les engrais testés en courtes saisons, les fermiers préfèrent combiner les cendres et de fumier, tous deux considérés gratuit dans la région. Combiner deux type d'engrais est un avantage car 1) il leur est plus facile de trouver de petites quantités de chaque engrais ; 2) les cendres sont plus légères que le fumier ce qui rend le travail moins laborieux ; 3) le fumier apporte un effet à long terme et une bonne rétention d'eau et les cendres apportent du pouvoir fertilisant plus rapide (Vandeplas et al, soumis).

La plupart des fermiers de la région ont l'habitude de planter des associations de haricots dans leur maïs. Depuis le début du projet de soja, ils expérimentent l'association de soja dans le maïs (Vandeplas, non publié). L'association du maïs avec du soja n'avait pas un effet significatif sur la récolte de maïs, en permettant de produire une petite quantité supplémentaire de fèves riches en protéines sans compromettre la production de maïs, la nourriture de base. L'association maïs-soja pourrait être encore améliorée en offrant plus de place au soja, avec le système *mbili-mbili* ou (deux-deux en Swahili : 2 rangs de maïs, 2 rangs de soja) (Woomer et al., 2004) (ou en plantant le soja avant le maïs pour éviter l'ombre (communication des fermiers). Par contre, l'association avec des haricots réduit les rendements de maïs mais offre une plus grande production de haricots, ayant un prix élevé sur le marché. Davis et Garcia (1983) estimaient que pour chaque kilo de haricots produit en association, 1-2 kilo de maïs étaient perdus. Ici, seulement 0.8 kg de maïs étaient perdus. Du point de vue économique, nutritionnel et de modération des risques, ceci reste une option favorable pour les fermiers. D'autres études ont également trouvé qu'une association de légumineuses, lorsque plantée suffisamment espacé, ne réduit pas ou presque les récoltes de maïs (Waddington et al., 2007). Les avantages connus des associations de légumineuses incluent une maximisation de l'utilisation de l'espace (Giller, 2001), de l'eau la lumière, et des nutriments, une réduction des risques de pestes. Le fermier à Mukuyu a observé une diminution de *Striga* dans les parcelles en association de maïs et soja. Ces observations n'étaient visibles que dans le champ de ce fermier. Oswald et al (2002) trouva que l'association avec du soja ou des haricots réduit l'apparition de *Striga* seulement dans certaines conditions agro-environnementales. De par la compétition plus grande en association, les récoltes et les capacités de fixation d'azote de la légumineuse sont inférieures à celles obtenues en culture seule (Abaidoo and van Kessel, 1989). L'impact de la fixation de azote par la légumineuse sur le maïs en association est encore douté, mais au moins la diminution de compétition pour le azote du sol est visible (Giller et al., 1991 ; Giller, 2001). Néanmoins, plusieurs études démontrent une augmentation des récoltes de maïs précédés par une association de maïs et légumineuses (Jeranyama et al, 2000; Mupangwa et al, 2003).

5 Conclusions

Les rotations de soja permettent d'augmenter la production de maïs de façon signifiante, de façon à produire la récolte normale de deux saisons de maïs en seulement une saison. Ce système est donc très efficace du point de

vue économique et nutritionnel, offrant non seulement de plus grandes quantités de récoltes mais aussi un menu plus équilibré et riche en protéines.

Deux systèmes ont montrés ajouter une valeur supplémentaire au système de façons facilement adoptables par les fermiers. Premièrement, en fertilisant les champs de soja avec une combinaison d'engrais minéral et organique, l'effet de la rotation augmente. En utilisant l'option de cendres + fumier, cette pratique devient fort accessible pour de nombreux fermiers. Deuxièmement, intégrer une association dans le maïs en rotation permet de produire une légumineuse supplémentaire sans perdre de récolte de maïs (quand inter plantée de soja) ou en perdant une partie du maïs (avec les haricots). Ceci augmente encore les bénéfices économiques et nutritionnels. De plus, cette pratique est commune pour les fermiers qui l'appliquent déjà dans la majorité de leurs champs.

Remerciements

La recherche a été co-financée par une bourse de doctorat du Conseil Interuniversitaire Flamand (VLIR-UOS), par le Tropical Soil Biology and Fertility Institute (TSBF) du Centre International d'Agriculture Tropicale (CIAT), et par la Division de Soil and Water Management of the K.U.Leuven. I want to thank the farmers of the Uriri Farmer cooperative society for the fruitful collaboration. Most special thanks to Alfred Mdezi Sagwa and Japhet Ababu Asimba without whose hard work and determination this research would not have been possible.

References

- Abaidoo RC, Dashiell KE, Sanginga N, Keyser HH and Singleton PW (1999) Time-course of dinitrogen fixation of promiscuous soybean cultivars measured by isotope dilution method. *Biol Fertil Soils* 30: 187-192.
- Anderson JM and Ingram JSI (1993) Tropical soil Biology and Fertility: A handbook of methods. CAB International, Wallingford, Oxon, England, 221 pp.
- Bouyoucos GH (1951) A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agron. Journal* 43: 434-438.
- Carsky RJ, Abaidoo R, Dashiell K and Sanginga N (1997) Effect of soybean on subsequent maize grain yield in the guinea savanna zone of West Africa. *African Crop Science Journal* 5: 31-38.
- Carsky RJ, Berner DK, Oyewole BD, Dashiell K and Schulz S. (2000) Reduction of *Striga hermonthica* parasitism on maize using soybean rotation. *Int. J. Pest Manage.* 46: 115-120.
- Central Bureau of Statistics (2003) Geographic dimensions of well-being in Kenya: Where are the poor? From district to locations: Volume 1. Central Bureau of Statistics Ministry of Planning and National Development Online: <http://go.worldbank.org/Z1Q8HEQOE0>. (Accessed: May 2009).
- Chianu J. N., Ohiokpehai O, Vanlauwe B, Adesina A, De Groote H, Sanginga N (2008) Promoting a versatile but yet minor crop: soybean in the farming systems of Kenya. *Journal of Sustainable Development in Africa* 10:2.
- Chikoye D, Ekeleme F, Lum AF and Schulz S (2008) Legume-maize rotation and nitrogen effects on weed performance in the humid and subhumid tropics of West Africa. *Crop Protection*. 27[3-5]: 638-647.
- CIMMYT (1988) From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual. Completely revised edition. Mexico. D.F.
- Custers J, Deckers J (2007) Soilscales and soil suitability for soybean in Migori District (SW-Kenya). MSc Thesis. Faculty of Bioscience Engineering. Department of Earth and Environmental Sciences. Katholieke Universiteit Leuven. Leuven, Belgium.
- Davis JHC and Garcia S (1983) Competitive ability and growth habit of indeterminate beans and maize for intercropping. *Field Crop Research* 6, 59-75.
- FAO (2009a). AquaCrop version 3.0 Reference Manual. January 2009. Online: <http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html> (Accessed in April 2009).
- FAO (2009b) FAOSTAT, ProdSTAT. Database Online: <http://faostat.fao.org/default.aspx> (Accessed in April 2009).
- Giller KE (2001) Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems (2nd Edition). CABI Publishing, CAB International, Wallingford, UK, 421pp.

- Giller KE, Ormesher J and Awah FM (1991) Nitrogen transfer from Phaseolus bean to intercropped maize measured using ¹⁵N-enrichment and ¹⁵N-isotope dilution methods. *Soil Biology and Biochemistry*. 23[4]: 339-346.
- IFDC (2008) High Fertilizer Prices, Shortages Cause Worldwide Social Unrest Focus on fertilizers and food security. International Fertilizer Security. Issue 7; September 8, 2008. International Centre for Soil Fertility and Agricultural Development. Online: <http://www.ifdc.org/focusonfertilizer7.html> (Accessed: March 2009).
- IUSS Working Group WRB (2006) World base for soil resources 2006. World Soil Resources report No.13. FAO, Rome.
- Jaetzold R and Schmidt H (1982) Farm Management Handbook of Kenya. Volume II: Natural Conditions and Farm Management Information. Part A: West Kenya. Ministry of Agriculture and GTZ, Kenya.
- Jeranyama P, Hesterman OB, Waddington SR, Harwood RR (2000). Relay-Intercropping of sunnhemp and cowpea into a smallholder maize system in Zimbabwe. *Agron. J.* 92: 239-244.
- Migori District Development Plan 2002-2008. Effective management for sustainable economic growth and poverty reduction. Ministry of Planning and National Development, Republic of Kenya.
- Misiko M (2007) Chapter 2: Smallholder amendments to cereal-legume rotations in western Kenya. In: Fertile Ground? Soil fertility management and the African smallholder. Ph.D. thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. p.15-34.
- Mpeperekwi S and Pompei I (2003) Promoting new BNF technologies among smallholder farmers: success story from Zimbabwe. In: Waddington SR (ed.) *Grain Legumes and Green Manures for Soil Fertility in Southern Africa: Taking stock of progress*. Proceedings of a Conference held 8-11 October 2002 at the Leopard Rock Hotel, Vumba, Zimbabwe. Soil Fert Net and CIMMYT-Zimbabwe, Harare, Zimbabwe. p33-38
- Mupangwa W, Namasasi H, Muchadeyi R and Manyawu GJ (2003) Residual effects of forage legumes on subsequent maize yields and soil fertility in the smallholder farming sector of Zimbabwe. In: Waddington SR (ed.) *Grain Legumes and Green Manures for Soil Fertility in Southern Africa: Taking stock of progress*. Proceedings of a Conference held 8-11 October 2002 at the Leopard Rock Hotel, Vumba, Zimbabwe. Soil Fert Net and CIMMYT-Zimbabwe, Harare, Zimbabwe. p165-168.
- Ogoke, I J, Carsky RJ, Togun AO and Dashiell K. (2003) Effect of P fertilizer application on N balance of soybean crop in the guinea savanna of Nigeria: Balanced Nutrient Management Systems for cropping systems in the tropics: from concept to practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 100[2-3]: 153-159.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean LA (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodiumbicarbonate. United States Department of Agriculture (USDA) Circular, pp.939 pp.
- Osunde A.O, Bala A, Gwam M. S, Tsado P. A., Sanginga N., and Okogun, JA (2003) Residual benefits of promiscuous soybean to maize (*Zea mays* L.) grown on farmers' fields around Minna in the southern Guinea savanna zone of Nigeria: Balanced Nutrient Management Systems for cropping systems in the tropics: from concept to practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 100[2-3]: 209-220
- Oswald A. and Ransom, JK (2001) Striga control and improved farm productivity using crop rotation. *Crop Protection* 20, 2 : 113-120
- Oswald A, Ransom JK, Kroschel J and Sauerborn J (2002) Intercropping controls Striga in maize based farming systems. *Crop Protection*. 21[5]:367-374.
- Peoples MB, Herridge DF and Ladha JK (1995) Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil* 174[1]: 3-28
- Ransom JK, Eplee RE and Langston MA (1990) Genetic variability for resistance to Striga asiatica in maize. *Cereal Res. Commun.* 18: 329-333.
- Sanginga N (2003) Role of biological nitrogen fixation in legume based cropping systems; a case study of West Africa farming systems. *Plant and Soil* 252: 25-39.
- Sanginga N, Dashiell KE, Diels J, Vanlauwe B, Lyasse O, Carsky RJ, Tarawali S, Asafo-Adjei B, Menkir A, Schulz S, Singh BB, Chikoye D, Keatinge D and Ortiz R (2003) Sustainable resource management coupled to resilient germplasm to provide new intensive cereal-grain-legume-livestock systems in the dry savanna: Balanced Nutrient Management Systems for cropping systems in the tropics: from concept to practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 100[2-3]: 305-314.
- Sanginga N, Okogun J, Vanlauwe B and Dashiell K (2002) The contribution of nitrogen by promiscuous soybeans to maize based cropping the moist savanna of Nigeria. *Plant & soil* , 241: 223-231.
- Sanginga N, Thottappilly G, and Dashiell K (2000) Effectiveness of rhizobia nodulating recent promiscuous soybean selections in the moist savanna of Nigeria. *Soil Biology and Biochemistry* 32[1]: 127-133.

- Sanginga N, Dashiell K, Okogun JA and Thottappilly G (1997) Nitrogen fixation and N contribution by promiscuous nodulating soybeans in the southern Guinea savanna of Nigeria. *Plant and Soil* 195: 257-266.
- Sanginga N, Okogun JA, Akobundu IO and Kang BT (1996) Phosphorus requirement and nodulation of herbaceous and shrub legumes in low P soils of a Guinean savanna in Nigeria. *Applied Soil Ecology* 3, 3 :247-255.
- Sanginga PC, Adesina AA, Manyong VM, Otite O, and Dashiell KE (1999) Social impact of soybean in Nigeria's southern Guinea savanna. IMPACT series, IITA. Ibadan, Nigeria.
- SAS (2004) SAS Help and Documentation. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA
- Singh A, Carsky RJ, Lucas EO and Dashiell K (2003) Soil N balance as affected by soybean maturity class in the Guinea savanna of Nigeria: Balanced Nutrient Management Systems for cropping systems in the tropics: from concept to practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 100[2-3]: 231-240.
- Snapp SS and Silim SN (2002) Farmer preferences and legume intensification for low nutrient environments. *Plant and Soil* 245: 181-192.
- Soil Survey Staff USDA (2006) Keys to Soil Taxonomy. Tenth Edition. Natural Resources Conservation Service, United States Department of agriculture (USDA).
- Stoorvogel JJ and Smaling EMA (1990) Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa: 1983-2000. Report 28. Wageningen, The Netherlands, Winand Staring Centre.
- Vandeplas I, Vanlauwe B, Driessens L, Merckx R and Deckers J. Submitted. Reducing labour and input costs in soybean production by smallholder farmers in south-western Kenya.
- Vanlauwe B (2002) Integrated Plant Nutrient Management in sub-saharan Africa: From Concept to Practice. CABI; Wallingford, UK, 352 pp.
- Versteeg MN, Amadji F, Eteka A, Gogan A and Koudokpon V (1998). Farmers' adoptability of Mucuna fallowing and agroforestry technologies in the coastal savanna of Benin. *Agricultural Systems* 56[3]: 269-287.
- Waddington SR, Mulugetta M, Siziba S and Karigwindi J (2007) Long-Term Yield Sustainability and financial returns from grain legumes-maize intercrops on a sandy soil in sub-humid North Central Zimbabwe. *Experimental Agriculture* 43: 489-503.
- Woomer PL, Lan'gat M and Tungani JO (2004) Innovative Maize-Legume Intercropping Results in Above- and Below-ground Competitive Advantages for Understorey Legumes. *West African Journal of Applied Ecology* 6:85-94.
- YARA International (2009) Fertilizer Prices. Online: http://www.yara.com/en/investor_relations/analyst_information/fertilizer_prices/index.html (Accessed: March 2009)

Impacts agronomiques, économiques et environnementaux de quelques amendements organiques à Nkolondom (Yaoundé Cameroun)

SEH NGOUN Emmanuel¹, OMOKO Michel², SIMON Serge³

1. CRESA Forêt BOIS, Option Etude d'Impacts sur l'Environnement, de Nkolbisson Yaoundé (rockgroup2005@yahoo.fr).
2. Université de Dschang, FASA, Département des Sciences du Sol (omokomich@yahoo.fr).
3. CIRAD représentation de l'Afrique centrale (serge.simon@cirad.fr).

Résumé

Dans le souci de mettre au point des stratégies et techniques de valorisation des déchets urbains au Cameroun, les impacts agronomiques, environnementaux et économiques de deux amendements organiques (fumier de poulet de chair et compost d'ordures ménagères) ont été évalués sur la culture de la laitue (*Lactuca sativa*). Pour y parvenir, un essai au champ a été conduit pendant deux cycles de culture en milieu paysan dans la zone maraîchère de Nkolondom, bas-fond périurbain de Yaoundé. Huit traitements ont été comparés dans un dispositif à quatre blocs complètement randomisés. Les travaux au champ ont été complétés par des analyses en laboratoire des sols et des amendements organiques.

Les traitements ont influencé les rendements frais en laitue de manière très hautement significative ($p < 0,0001$) pendant les deux cycles de culture. Au premier cycle, ces rendements ont varié de 1,7 kg/m² (sur les parcelles témoins) à 3,1 kg/m² (sur les parcelles fertilisées par une combinaison fumier + engrais). Les rendements obtenus au second cycle sont compris entre 1,2 kg/m² (sur parcelles témoins) et 4,4 kg/m² (sur les parcelles fertilisées conformément à la pratique paysanne). Sur la base des rendements cumulés Les observations montrent que les amendements organiques donnent de meilleurs résultats lorsqu'ils sont associés aux engrais minéraux.

L'épandage du fumier ou du compost permet de restaurer la fertilité du sol, notamment en azote et en matière organique. Néanmoins, le fumier augmente 10 fois plus la teneur en azote et 2,5 fois plus la teneur en matière organique que le compost. L'apport en matière organique qui en résulte améliore la stabilité du sol ainsi que sa capacité de rétention en eau, le rendant par conséquent moins sensible à l'érosion.

En dehors de ces atouts sur la fertilité du sol, l'usage des composts d'ordures ménagères permet de transformer des déchets des villes en intrants agricoles. Ainsi en produisant un kilogramme de laitue avec du compost, on recycle 21,3 kg d'ordures ménagères. Il a par ailleurs été vérifié que ces amendements organiques ne contiennent pas de micro-organismes pathogènes, ni de métaux lourds ; leur manipulation ne présente donc pas de risque.

Cependant, la rentabilité économique du fumier et/ou du compost est très faible comparativement à celle de l'engrais minéral. En effet le recours au fumier coûte 2 fois plus et celui du compost 20 fois plus que l'emploi de l'engrais minéral. Ces rapports seraient moindres avec l'amélioration des techniques de production et le rapprochement des sites de fabrication près des bassins agricoles.

Mots-clés : amendement organique, fertilisation minérale, compost, laitue, Cameroun,

Abstract

To finalize strategies and techniques of valuation of the urban waste in Cameroon, agronomic, environmental and economic impacts of two organic amendments (poultry manure and compost of household refuse) were estimated on the culture of the lettuce (*Lactuca sativa*). A trial was driven during two cycles of culture in the periurban inland-valley of Nkolondom, (Yaounde, Cameroon). Eight treatments were compared in a device with four blocks completely randomized. The works in fields were completed by analyses in laboratory of grounds and organic amendments.

Treatments influenced the harvest in lettuce in a very highly significant way ($p < 0.0001$) during both cycles of cropping. In the first cycle, these returns varied of $1.7 \text{ kg} / \text{m}^2$ (on the standard plots) in $3.1 \text{ kg} / \text{m}^2$ (on the plots of land fertilized by a combination of poultry manure + mineral fertilizer). The results obtained in the second cycle are included between $1.2 \text{ kg} / \text{m}^2$ (on the standard plots) and $4.4 \text{ kg} / \text{m}^2$ (on the plots of land fertilized according to the farmer practices). The observations show that the organic amendments give better results when they are associated to mineral fertilizers.

The poultry manure or the compost allows restoring the fertility of the ground, in particular in nitrogen and in organic matter. Nevertheless, the poultry manure increases much better the content in nitrogen and in organic matter than the compost. The contribution in organic matter which results from it improves the stability of the ground as well as its capacity of keeping back in water, making it consequently less sensitive to the erosion.

Except these assets on the fertility of the ground, the use of compost of household refuse remove waste of cities in agricultural entrants: by producing one kilogram of lettuce with compost, we recycle 21,3 kg of household refuse. At the same time, analysis has confirmed that their manipulation is safe: these organic amendments do not contain any pathogenic micro-organisms, nor heavy metals.

However, the economic profitability of the fertilizer and/or the compost is very weak compared with that some mineral fertilizer. Indeed the appeal to the fertilizer costs twice more and that of the compost 20 times more than the use of the mineral fertilizer. These reports would be lesser with the improvement of the techniques of production and the link of the sites of manufacturing near the agricultural ponds.

Keys words: Cameroon, Organic manure, Mineral fertilizer, Compost, Lettuce,

INTRODUCTION

1. Problématique

Le diagnostic de la fertilité des sols du Cameroun fait ressortir d'une part une faible fertilité due aux conditions naturelles et d'autre part, un déclin de la fertilité résultant du mode de gestion inappropriée des sols qui, de manière insidieuse, induit la dégradation des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de ceux-ci (GOLCHIN et al., 1995; TEJADA et al., 2006). Parmi les causes les plus fréquentes de cette baisse de fertilité, on peut citer la pauvreté en éléments nutritifs et notamment celle en matière organique. Cette dernière entraîne des conséquences défavorables telles que la fragilisation de la structure des sols et l'augmentation de la susceptibilité à l'érosion.

NGNIKAM (2000) estime la masse d'ordures ménagères produite dans la ville de Yaoundé à 1076,4 tonnes par jour. Tous les acteurs impliqués dans la gestion de ces déchets cherchent des moyens pour assurer la propreté de cette ville et préserver leur environnement. Par ailleurs l'agriculture familiale camerounaise représente 95% des exploitations agricoles du pays (MINADER, 2005). L'une des contraintes à cette activité est le renchérissement des engrais minéraux sur le marché local. La mise sur pied des alternatives aux méthodes de fertilisation conventionnelle (telle que l'usage des engrais minéraux), constitue un moyen de préserver la sécurité alimentaire et de lutter efficacement contre le coût élevé de la vie.

Dans ce contexte, il serait judicieux de s'interroger sur l'intérêt de l'usage agricole des déchets communautaires et notamment des amendements organiques (*selon l'AFNOR ce terme désigne, toutes matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale et/ou animale, fermentées ou fermentescibles, destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique du sol et à l'amélioration de ses propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques*).

2. Objectifs de l'étude

La présente étude se propose:

- ✓ d'évaluer l'impact agronomique de quelques amendements organiques ;
- ✓ d'en déduire l'impact sur le coût de fertilisation d'une culture ainsi que sur la masse de déchets recyclés ou éliminés ;
- ✓ d'évaluer les risques sanitaires de ces amendements organiques.

3. Localisation de la zone d'étude

Cette étude a été conduite au Cameroun dans la zone périurbaine de Yaoundé (voir figure 1). Les essais en champ se sont déroulés dans le bas-fond de Nkolondom (11°25'E – 11° 35' E et 3°50'N - 4°00'N, altitude 750 m). Les sols dominants sont hydromorphes en fond de vallée et ferrallitiques rouges sur les pentes : le paysage est parsemé de grosses collines (alt. de 700m). Le climat local est équatorial guinéen à quatre saisons, caractérisé par une pluviosité annuelle de 1510 mm et une température moyenne annuelle de 23°C (voir figure 2). La végétation est celle d'une forêt dégradée par l'activité humaine. Le maraîchage constitue l'activité principale des agriculteurs de la localité. On note aussi la pratique de l'élevage de la volaille dans quelques familles.

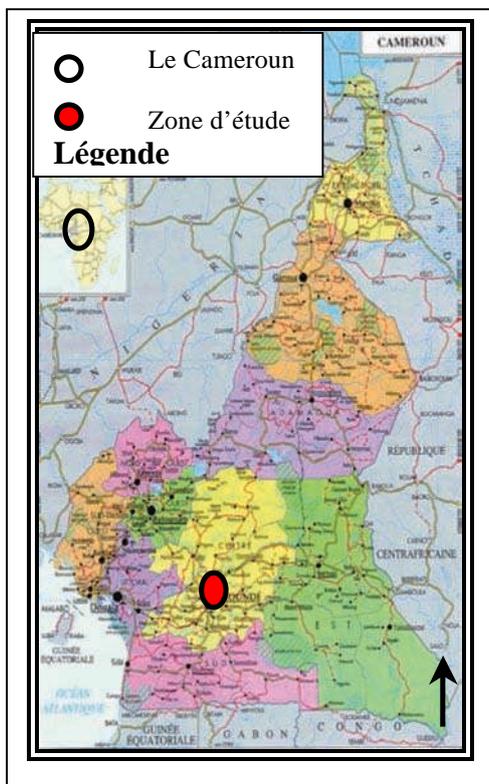


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

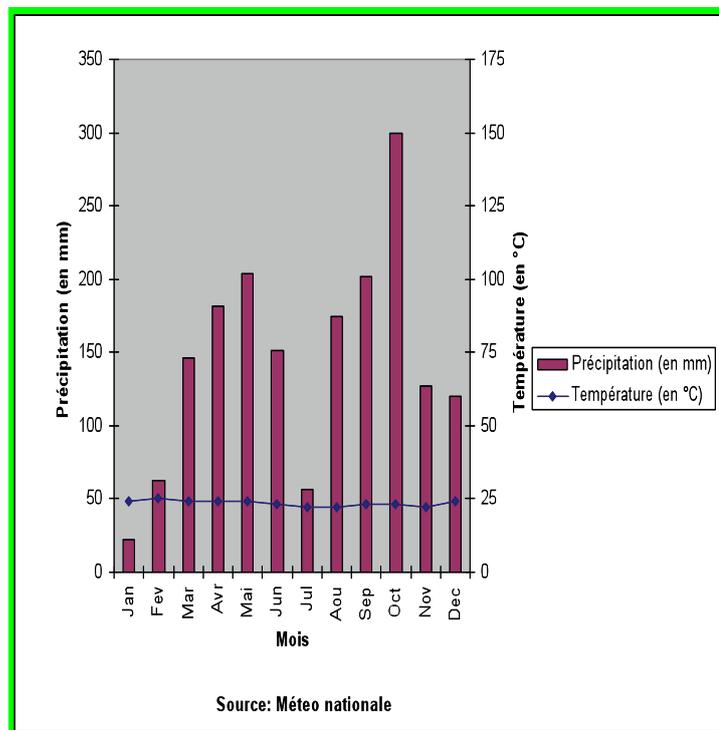


Figure 2 : Diagramme ombro thermique de la zone d'étude

1. MATERIELS ET METHODES

Cette partie présente les matériels utilisés dans l'étude, puis décrit les procédures ayant permis d'atteindre les objectifs fixés précédemment.

1.1. Matériels

Le matériel utilisé dans l'étude est constitué d'un matériel végétal, de matières fertilisantes, d'outils aratoires, du matériel de laboratoire, d'un GPS, d'un appareil photo et de logiciels informatiques.

Le matériel végétal utilisé est la laitue (*Lactuca sativa*) variété « Blonde de Paris ». Deux amendements organiques et des engrais minéraux ont été également utilisés comme matières fertilisantes. Il s'agit d'un compost issu d'ordures ménagères, d'un fumier de poulet de chair, d'urée et d'engrais complexe NPK de formulation 20 10 10 et 12 14 19.

Les analyses des échantillons des sols et des amendements organiques ont été effectuées au laboratoire d'analyse des sols, plantes, engrais et eaux (LASPEE) de l'IRAD de Nkolbisson et au Centre Pasteur de Yaoundé. Les logiciels utilisés sont les suivants : Microsoft Word, Microsoft Excel, Adobe illustrator 9.0, Minitab 15 et SAS.

1.2. Méthodes

Le potentiel agronomique et les risques environnementaux des matières fertilisantes ont été évalués par la méthode décrite par DAVIDESCU et DAVIDESCU (1982). Cette méthode est basée sur l'expérimentation au champ, complétée par des analyses chimiques de sol et des amendements organiques.

Le potentiel agronomique des matières fertilisantes a été évalué à travers huit traitements (tableau I) testés sur la laitue pendant deux cycles de culture, dans un dispositif en bloc complet randomisé à quatre répétitions (figure 3). L'impact sur le coût de la fertilisation a été déterminé à partir du ratio du coût de la fertilisation sur le rendement frais. L'évaluation de la masse de déchets recyclés ou éliminés a été déterminée par la formule suivante :

$$M' = \frac{\theta}{100} \cdot \frac{M}{\lambda \cdot r}$$

M = Masse amendement organique utilisée (en kg/m²)
M' = Masse d'ordures ménagères éliminée ou recyclée (en kg)
θ = Pourcentage fermentescible des ordures ménagères (en %)
λ = Rendement matière de la transformation
r = Rendement cumulé (en kg/m²)

Les risques sanitaires ont été évalués à travers une analyse microbiologique afin de rechercher les principaux pathogènes humains (*Campylobacter*, *Escherichia coli* et *Salmonelle*). L'analyse des métaux lourds (Cuivre, Zinc et Plomb) a permis d'évaluer les risques de contamination des sols où ces amendements sont épandus. Le choix de ces micro-organismes, ainsi que des métaux lourds se justifie par le fait que l'activité agropastorale est dominante dans cette localité.

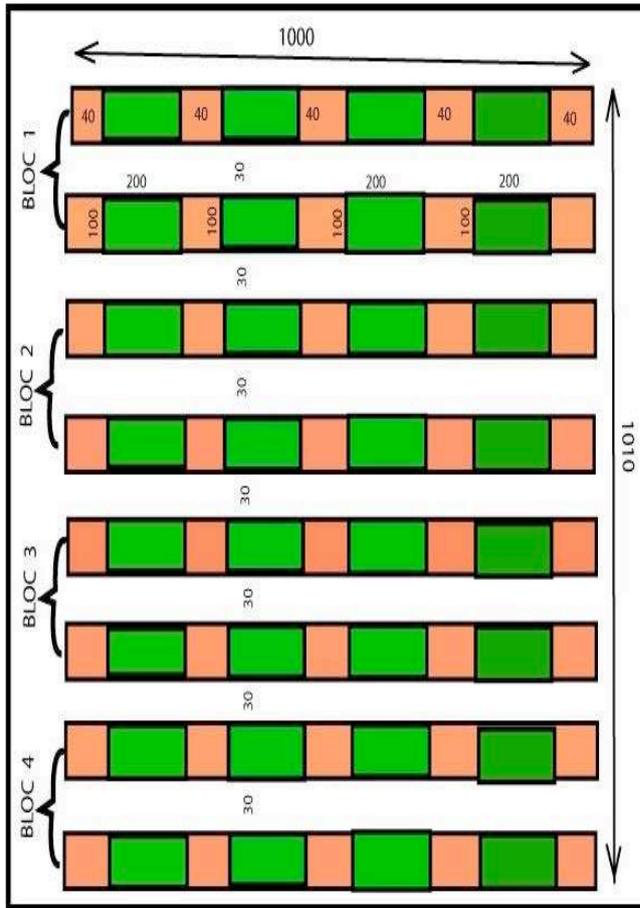


Photo 3: Vue d'ensemble de l'essai

Figure 3: Dispositif expérimental

Tableau I : Composition des traitements expérimentaux

Traitement expérimental	Code	Premier cycle de culture	Second cycle de culture
Témoin	T0	AUCUNE FERTILISATION	AUCUNE FERTILISATION
Pratique paysanne	T1	Fumure d'entretien: 3,8 kg/m ² de fumier poulet de chair + 54,2 g/m ² de 20 10 10	Fumure d'entretien: 3,8 kg/m ² de fumier poulet de chair + 54,2 g/m ² de 20 10 10
Fumier de poulet de chair (F)	T2	Fumure de fond : 4,8 kg/m ² de fumier poulet de chair	AUCUNE FERTILISATION
Compost d'ordures ménagères (C)	T3	Fumure de fond : 47 kg/m ² de compost	AUCUNE FERTILISATION
Engrais minéral (E)	T4	Fumure de fond : 54,2 g/m ² de NPK 12 14 19 Fumure d'entretien: 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19	Fumure d'entretien: 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19
Compost + Engrais minéral (C + E)	T5	Fumure de fond : 27,8 kg/m ² de compost Fumure d'entretien: 10 g/m ² d'urée	Fumure d'entretien: 10 g/m ² d'urée
Fumier + Engrais minéral (F + E)	T6	Fumure de fond : 2,8 kg/m ² de fumier de poulet de chair Fumure d'entretien: 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19	Fumure d'entretien : 37,5 g/m ² de NPK 12 14 19
Compost + Fumier + Engrais minéral (C + F + E)	T7	Fumure de fond : 13,9 kg/m ² de compost + 1,4 kg/m ² de fumier de poulet de chair Fumure d'entretien: 10 g/m ² d'urée	Fumure d'entretien : 10 g/m ² d'urée

L'unité expérimentale est une parcelle de 2 m x 1 m. La production de chaque parcelle expérimentale était obtenue à partir de 12 plants récoltés au centre de la parcelle afin d'éviter l'effet voisinage et l'effet bordure. Les échantillons de sol ont été prélevés sur un profil de 20 cm.

L'analyse de la variance et de la régression a été effectuée par le test de Fischer (1950). L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée selon la procédure GLM (General Linear Model). La séparation des moyennes a été effectuée selon LSD (Least Significant Difference qui est une application du t-test). Toutes les probabilités étaient appréciées au seuil de 5%.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Caractéristiques des sols des différents sites avant essai

Les résultats issus de l'analyse des échantillons de sol prélevés sur le site d'étude avant la mise en place des essais sont présentés au tableau II.

Tableau II : Caractéristiques du sol avant la culture

Type d'analyse	Caractéristiques	Valeurs observées
Granulométrie (en %)	Argile	26.9
	Limon fin	5.9
	Limon grossier	8.8
	Sable fin	13.1
	Sable grossier	43.1
Classe texturale (FAO)		LAS
Matière organique (en %)	M.O.totale	4.64
	C.O.	2.70
	N total	0.21
	C/N	12.86
Acide phosphorique BRAY II (en mg/kg)	Phosphore Assimilable	3.29
Bases échangeables (en cmol/kg)	Ca ²⁺	5.60
	Mg ²⁺	1.05
	K ⁺	0.52
	Na ⁺	0.05
	S	7.22
	CEC	8.79
	S/ CEC	82.14
Acidité/Alcalinité (1 : 2,5)	pH-eau	6.5
	pH-KCl	6.2

Le sol sur lequel l'essai a été conduit est hydromorphe avec une texture sablo argilo limoneuse. Conformément au guide proposé par BEERNAERT et BITONDO (1992), ce sol présente un niveau de fertilité élevé, notamment en matière organique. Cependant la teneur en phosphore assimilable reste très faible. Malgré cette richesse en matière organique, un apport supplémentaire se justifie compte tenu de la minéralisation rapide de la matière organique en zone tropicale.

2.2. Caractéristiques agronomiques des amendements organiques expérimentés

Les données du tableau III montrent que le compost de France (BRULA et al., 1995) est meilleur par rapport aux composts africains. Ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'en France les normes sont beaucoup plus rigoureuses qu'en Afrique. Comparé aux composts de Yaoundé (NGNIKAM et al., 1995) et de Cotonou (WASS et al., 1996), les amendements organiques expérimentés dans l'essai sont de mauvaise qualité, notamment en ce qui concerne la teneur en matière sèche et la teneur en matière organique. La médiocre qualité de ces amendements a pour origine la présence importante de terre sans doute introduite lors des retournements de tas confectionnés sur sol nu et non sur une dalle bétonnée.

Tableau III:Caractéristiques agronomiques des amendements organiques expérimentés

Caractéristiques	Compost d'ordures ménagères	Fumier de poulet de chair	Compost de Yaoundé NGNIKAM et al (1995)	Compost de Cotonou WASS et al. (1996)	Compost de France BRULA et al. (1995)	Norme AFNOR 2006
MS % MB	86,11	70,62				< 30
MO en % MB	9.77	15.14	17,7	16	48,5	> 20
C.O. % MB	5.68	8.80	13,6	8,4	26,3	
N total en % MB	0.52	0.61	0,85	0,30	0,96	Somme N, P ₂ O ₅ et K ₂ O
N-NH ₄ en mg/kg	16	42,30				
C/N	10.9	14.4	16	25	26,4	< 3%
P ₂ O ₅ en mg/kg	36.10	14.59				
K ⁺ en meq/100g	1.98	5.32				
Ca ²⁺ en meq/100g	11.16	0.86				
Mg ²⁺ en meq/100g	2.04	2.50				
CEC en meq/100g	18.64	30.22				
S en meq/100g	15.26	9.19				
S/ CEC	81.87	30.41				
pH-eau	7.4	7.9				

2.3. Impacts agronomiques, économiques et environnementaux des amendements organiques expérimentés

L'analyse de la variance montre qu'aucun effet bloc n'est pas mis en évidence au seuil de probabilité de 5%. Au contraire les traitements expérimentés ont eu un effet très hautement significatif sur le rendement frais de la laitue, sur le coût de fertilisation par unité de laitue produit et sur la masse de déchets recyclés. Le tableau IV présente ces performances.

Tableau IV : Impacts agro économique et environnemental des traitements expérimentaux.

Types de fertilisation	Rendement frais de laitue (en kg/m ²)			Coût de fertilisation par unité de production (en FCFA/kg)	Masse de déchets recyclés par unité de production
	Cycle 1	Cycle 2	Cumul (1+2)		
Sans fertilisation	1,7 c	1,2 g	2,9 c	0,0 g	0,0 e
Pratique paysanne	2,7 b	4,4 a	7,2 a	45,6 d	1,1 d
Fumier (F)	2,7 b	2,8 c	5,6 b	32,2 e	0,8 d
Compost (C)	2,6 b	2,4 d	5,1 b	373,2 a	21,3 a
Engrais minéral (E)	1,9 c	1,7 f	3,7 c	17,4 f	0,0 e
C+E	2,6 b	2,2 e	4,9 b	229,3 b	13,1 b
F+E	3,1 a	3,4 b	6,6 a	21,7 f	0,4 e
C+F+E	2,7 b	2,1 e	5,5 b	129,3 c	6,6 c

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5%, selon le test LSD.

Sur la base du rendement cumulé, ces traitements sont classés comme suit :

pratique paysanne \geq fumier + engrais $>$ fumier \geq compost \geq compost + engrais \geq compost + fumier + engrais $>$ engrais \geq témoin. Ces résultats montrent que l'apport des amendements organiques améliore le rendement frais de la laitue. Les meilleures performances sont obtenues lorsque ceux-ci sont associés aux engrais minéraux. Les résultats similaires ont déjà été obtenus par TERMAN et al. (1973), ainsi que par NZILA (2006) sur amarante potagère (*Amaranthus cruentus*). Malgré les performances médiocres du compost par rapport au fumier, l'usage de cet amendement revêt un intérêt dans la gestion environnementale des déchets des villes. En effet en produisant un kilogramme de laitue avec du compost, on élimine environ 21 kg d'ordures ménagères. Cet effet est très important pour les pays en voie de développement où la gestion des déchets est une contrainte majeure et où elle correspond à la solution anti-écologique du tout en décharge

Sur la base du coût de la fertilisation par unité de production on obtient le classement suivant : témoin $>$ engrais minéral \geq fumier + engrais $>$ fumier $>$ pratique paysanne $>$ compost + fumier + engrais $>$ compost + engrais $>$ compost. Ce classement montre que l'engrais minéral est plus rentable que les amendements organiques pour lesquels le rapport « prix/qualité » est défavorable au compost.

Après deux cycles de culture de la laitue, des prélèvements de sols ont été effectués sur les parcelles expérimentales. Après analyse, les résultats obtenus ont été comparés à la fertilité initiale des parcelles. Les variations obtenues de cette comparaison sont présentées dans le tableau V.

Tableau V: Variation des caractéristiques du sol après épandage des traitements expérimentés.

Traitement expérimental	Variation des caractéristiques du sol							
	MO (en %)	N totale (en %)	C/N	P ₂ O ₅ (en g/kg)	K ₂ O (en g/kg)	S (meq/100g)	CEC (meq/100g)	pH-eau
Pratique paysanne	+ 0,57	+ 0,07	- 2,04	- 3	+ 0,39	+ 1,28	+ 2,70	0
Compost d'ordures ménagères (C)	+ 3,34	+ 0,13	+ 0,79	- 23	- 0,26	+ 16,74	+ 4,60	+ 1,2
Fumier de poulet de chair (F)	+ 0,86	+ 0,10	- 2,54	- 43	+ 0,17	+ 3,08	+ 2,73	+ 0,4
Engrais minéral (E)	- 0,34	+ 0,03	- 2,44	- 20,5	- 0,20	+ 0,03	+ 2,43	- 0,1
C + E	+ 3,22	+ 0,14	+ 0,20	- 56	+ 0,28	+ 10,82	+ 3,74	+ 1,3
F + E	+ 0,73	+ 0,06	- 1,31	- 55	+ 0,18	+ 0,28	+ 2,91	- 0,4
C + F + E	+ 0,76	+ 0,06	- 1,23	- 51	- 0,01	+ 3,28	+ 2,66	+ 0,6

Ces résultats montrent que contrairement à l'engrais minéral, l'épandage des amendements organiques permet de restaurer sur le long terme la fertilité du sol, notamment en azote et en matière organique. Cet effet est meilleur avec le fumier qu'avec le compost. A masse égale, le fumier améliore la teneur en azote 10 fois plus et la teneur en matière organique 2,5 fois plus que le compost. L'apport de la matière organique qui résulte de l'épandage de ces amendements améliore la stabilité du sol et réduit ainsi sa sensibilité à l'érosion. En plus, ces épandages améliorent la capacité de rétention en eau du sol ainsi que sa perméabilité et sa cohésion. Cependant, il a été

observé une perte en phosphore sur tous traitements expérimentés. Ceci serait dû à un mauvais équilibre des matières fertilisantes constituant chacun de ces traitements.

2.4. Risques sanitaires des amendements organiques expérimentés

Quatre échantillons composites d'amendements organiques ont été analysés au Centre Pasteur de Yaoundé. Les résultats de cette analyse sont présentés par le tableau VI.

Tableau VI: Mise en évidence de quelques microbes dans les amendements organiques expérimentés

Microbe pathogène	Compost d'ordures ménagères		Fumier de poulet de chair	
	Frais	après conservation	Frais	après conservation
<i>Campylobacter</i>	Absence	Absence	Absent	Absent
<i>Escherichia coli</i>	Absence	Présent	Absent	Absent
<i>Salmonella sp.</i>	Absence	Absence	Absent	Absent

Les observations du tableau VI montrent que l'usage du compost ou du fumier ne présente pas de risques microbiologiques, notamment pour les maraîchers. Néanmoins, la présence d'E coli dans l'échantillon de compost après conservation doit inciter aux respects de normes strictes de stockage pour éviter de telles contaminations.

Deux échantillons de fumier de poulet de chair et de compost d'ordures ménagères ont été envoyés au LASPEE de l'IRAD pour analyse de métaux lourds (cuivre, zinc et plomb). Les résultats de cette analyse sont présentés par le tableau VII.

Tableau VII: Teneur en métaux lourds (en mg/kg de MS) des amendements organiques expérimentés.

Métaux lourds	Compost d'ordures ménagères	Fumier de poulet de chair	Valeur seuil dans les amendements organiques selon la norme AFNOR (2006)
Cuivre (Cu)	0.09	0.07	300
Zinc (Zn)	0.32	0.27	600
Plomb (Pb)	0.021	0.008	180

Les teneurs en métaux lourds sont très en dessous des seuils de l'AFNOR (2006). Ceci se justifie par l'absence de toute activité industrielle importante dans les zones d'origine de ces amendements. Par conséquent, l'épandage de ces amendements ne présente pas de risques de contamination des sols en métaux lourds.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La présente étude a pour objectif d'évaluer les impacts agronomiques, économiques et environnementaux de l'usage de quelques amendements organiques (fumier de poulet de chair et compost issu d'ordures ménagères) sur la culture de la laitue à Nkolondom. Le traitement et l'analyse des données d'un essai en champ complété par des analyses en laboratoire montrent que l'épandage de ces amendements organiques présente un triple intérêt :

- Il permet d'améliorer le rendement frais de la laitue, notamment lorsque ses amendements sont associés aux engrais minéraux ;
- Par une élévation des teneurs en azote et en matière organique, il permet de restaurer la fertilité du sol, et d'améliorer la stabilité du sol et de réduire les risques d'érosion ;
- Il permet de recycler des déchets communautaires : les fientes issues des élevages intensifs de volaille dans le cadre du fumier et une partie des ordures ménagères dans le cadre du compost.

Les analyses de laboratoires ont mis en évidence qu'avec un minimum de précaution l'usage de ces amendements ne présentait aucun risque sanitaire pour l'homme (absence de pathogènes) et pour l'environnement (métaux lourds).

Le facteur limitant au développement de leur usage réside dans leur coût élevé comparé à celui des engrais minéraux même si ceux-ci n'ont qu'un effet fugace sur la fertilité des sols. Afin d'améliorer la rentabilité de ces amendements et favoriser leur adoption en milieu paysan, il est indispensable:

- d'améliorer la qualité du compost d'ordures ménagères en respectant les normes de production afin d'éviter en particulier les contaminations de terre ;
- de rapprocher les sites de production des bassins d'utilisation finale que sont les bas-fonds agricoles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **AFNOR, 2006.** Qualité des sols, méthodes de prélèvement d'échantillon de terre. Norme française homologuée. 80p.
2. **BEERNAERT, F. AND BITONDO, D., 1992.** Simple and practical methods to evaluate analytical data of soil profiles, CUDs Dschang, soil science department, 66p.
3. **BRULA, P., NAQUIN, P., et PERRODIN, Y., 1995.** Etude bibliographique des rejets des différentes techniques de traitement de résidus urbains. Vol.2. L'incinération et la décharge. Lyon (France) INSA valor. Division Polden, ADEME (Anger), p. 74
4. **CIPCRE, 1997.** Projet pilote de compostage des ordures ménagères dans la ville de Bafoussam : Rapport d'exécution. p 70.
5. **DAVIDESCU, D. and DAVIDESCU, V., 1982.** Evaluation of fertility by plant and soil analysis, British Library Cataloguing in Publication Data, ISBN 0-85626-123-8, p.379
6. **FISCHER, A., 1950.** Statistical Methods for Research Workers. Oliver and Boyd, Edinburgh.
Proc. amer. soc. hort. sci. p.78-90
7. **GOLCHIN, A., CLARKE, P., OADES, J.M., SKEJMSTAD, J.O., 1995.** The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Austr. J. Soil Res.* 33, p. 975 - 993
8. **MINADER, 2005.** Stratégie nationale de développement du sous-secteur engrais et d'amélioration durable de la productivité des sols au Cameroun, Rapport, Cameroun, p.40
9. **NGNIKAM, E., NDOUMBE, N., H., WETHE J., 1995.** Mise en place de dix compostières dans les quartiers de Yaoundé: Animation et participation de la population. Réseau africain du compost, compte rendu de la première conférence. Dakar, p.60.
10. **NGNIKAM, E., 2000.** Evaluation environnemental et économique des systèmes de gestion des déchets solides : Analyse du cas de Yaoundé au Cameroun, Ph.D, INSA Lyon, France, 217 p.
11. **NZILA, J. D., WATHA-NDOUDY, N., et NTANGOU, M., 2007.** Impact de la fertilisation organique et minérale sur la production des cultures maraichères (*Basella alba et Amaranthus cruentus*) sur sols sableux de la région de Brazzaville (Congo). CRCRT, Congo-Brazzaville, pp.87-88.
12. **TEJADA, M., HERMANDEZ, M.T., GARCIA, C., 2006.** Application of two organic amendments on soil restoration: Effects on the soil biological properties. *J. Environ. Qual.* 35, p. 1010 – 1017
13. **TERMAN. G.L., SOILEAU, J.M., ALLEN, S.E., 1973.** Municipal waste compost: effects on crop yields and nutrient content in greenhouse pot experiments. *J. Environ. Qual.*, 2, pp. 84-89
14. **WAAS, E., ADJADEME, N., et BIDAUX, A., 1996.** Valorisation des déchets organiques dans les quartiers populaires des villes africaines. Genève- Suisse. Fonds Suisse de la recherche scientifique ; Module 7, Développement et Environnement. CREPA, IAGU et SAN DEC. 50 p.

Aménagements hydro-agricoles permettant la conservation des eaux et la restauration de la productivité des sols de Gros Morne en Haïti.

Michel BROCHET¹, Charles LILIN² et Saintil CLOSSY³

Courriels : mibrochet@wanadoo.fr charles.lilin@free.fr et clossying@yahoo.fr

Résumé

Dans cet article, nous décrivons le projet de développement agricole durable de Gros Morne. Il s'agit d'un projet relevant de la gestion conservatoire des eaux et des sols, la priorité étant donnée simultanément à l'amélioration de la production agricole et à celle du milieu. Dans une première phase, ce projet a privilégié la construction de seuils en maçonnerie conçus pour durer. Leur objectif principal est de diminuer la contrainte constituée par la pénurie de l'eau et de stocker des sédiments riches. Le surgreffage du manguier et des plantations d'arbres fruitiers sont des volets secondaires du projet. Une deuxième phase du projet donne maintenant une place plus importante à l'utilisation de techniques biologiques pour traiter les versants et surtout les ravines. L'originalité de ce projet réside moins dans les objectifs et les principes affichés que dans les modalités de sa mise œuvre, dans une adaptation permanente et fine d'aménagements faits « sur mesure » au terrain et à l'évolution de la situation. L'article souligne que la diffusion des aspects innovants du projet est surtout conditionnée par une évolution du projet de gestion conservatoire des eaux et des sols ainsi que par des actions de formation continue développant les compétences pratiques nécessaires s'appuyant sur un centre de ressources national.

Mots-clés : Haïti, Gros Mornes, seuils en maçonnerie, conservation de l'eau, restauration de la productivité des sols des bas fonds, formation.

Abstract

The objectives of the project related to sustainable agricultural development of Gros Morne are to improve the agricultural production and, at the same time, to reduce soil erosion. In it's first stage, emphasis has been given to the construction of small masonry dams in the gullies, in order to improve the water supply for agricultural production during the dry season. Other aspects of the project are the grafting of existing mango trees and the plantation of fruit trees. In the stage starting now, more emphasis is given to the construction of biological structures on the slopes and in the gullies. According to us, the way the project has been implemented is more important than the adopted objectives and principles. The handcrafted technical decisions have always been finely fitted to the characteristics of the landscapes and to the local situation.

¹ Ing. général du GREF, ER, chargé de piloter le projet de développement rural de Gros Morne.

² Ing. général du GREF, ER, membre du comité de pilotage du projet de développement rural de Gros Morne.

³ Ing. De génie civil, responsable des chantiers d'aménagement du projet de développement agricole durable de Gros Morne.

The dissemination of the described innovations depends on changes of the soil conservation projects considered as “devices” crafted by their history and having their own effects. The existing devices are not permitting the emergence of new practices. Methodologies and principles will have little effect on the final results of a given project as long as these devices are not amended. An on the job training of practitioners and the implementation of a national resource centre will also be necessary.

Key words: Haiti, Gros Morne watershed, masonry dams, water conservation, soil productivity restoration in the valleys, education

1. Introduction

En Haïti, l'érosion des terres peut être considérée comme un sous-produit de l'absence de développement dans les mornes. La volonté de la traiter comme un aspect du sous-développement est ancienne. Elle se traduit dans les projets par la priorité donnée à des aménagements qui doivent à la fois améliorer la production agricole et maîtriser l'érosion. Elle conduit aussi à associer à de telles mesures des actions d'accompagnement visant à faciliter le développement agricole.

Malgré ces intentions louables, la réalité des projets de conservation des eaux et des sols est souvent décevante pour qui ne se contente pas de leurs évaluations officielles, mais fait le point sur le terrain quelque temps après qu'ils soient terminés.

Cet article décrit le projet de développement agricole durable de Gros Morne qui relève de la gestion conservatoire des eaux et des sols. Il privilégie l'amélioration durable de la production agricole de la zone aménagée et constitue la diminution de l'érosion en un sous-produit. Dans sa première phase, ce projet donne une place importante à la construction de seuils en maçonnerie en vue de capter les eaux de ruissellement venant des versants et de valoriser les sédiments dans les vallons.

Nous évoquons les conditions de la mise en œuvre de ces aménagements ainsi que quelques uns des problèmes techniques rencontrés. Ensuite, au-delà de la question des choix techniques, nous nous interrogeons sur d'autres aspects qui contribuent au succès de l'innovation. Leur prise en compte nous semble nécessaire si l'on veut introduire des innovations analogues dans d'autres projets de conservation des sols.

Nous apportons des éléments pour répondre à diverses interrogations. Comment faciliter l'adoption au niveau d'autres projets de gestion conservatoire des eaux et des sols d'innovations similaires à celles décrites ? Comment poursuivre l'enrichissement de la panoplie des choix techniques de ces projets ?

2. Le projet de développement agricole durable de Gros Morne, aspects techniques

Le projet de développement agricole durable de Gros Morne a trois axes d'intervention principaux :

- La construction de seuils maçonnés et de leurs annexes (puits, bassins) dans des ravines ;
- L'arboriculture fruitière : surgreffage du manguier, plantation d'arbres fruitiers ;
- La mise en œuvre de techniques biologiques dans les ravines (seuils) et sur les versants (embocagement).

Ces interventions sont complétées par des actions transversales :

- La mise en place de pépinières ;

- La formation de greffeurs, d'agriculteurs et de techniciens ;
- Les activités d'éveil à l'environnement pour les enfants des écoles ;
- Le planning familial.

2.1. Les seuils en maçonnerie et en gabions

A Gros-Morne, le projet de SOS ESF⁴ a aménagé des ravines pour créer des îlots de fertilité (fonds frais) et pour constituer des réserves d'eau de ruissellement en vue d'arroser les cultures maraîchères et d'abreuver le bétail. L'association Zanmi Lasanté Paris (ZLP) a utilisé une démarche similaire dans le Plateau Central à Caye Epin⁵, après avoir bénéficié d'échanges de stagiaires avec le projet de SOS ESF à Gros Morne.

Une priorité : améliorer la disponibilité de la ressource en eau

Des seuils en gabions ou en maçonnerie de gros blocs avec mortier au ciment ont été construits dans des ravines là où les ressources en eau étaient critiques pour les exploitants à certaines périodes de l'année. L'eau constitue un facteur qui limite l'intensification agricole et les développements du vivrier maraîcher (bananier, patate douce, malanga, gombo, légumes feuille) comme de l'élevage.

Certes, ces seuils retiennent aussi des sédiments et participent à la maîtrise du ravinement, mais il s'agit d'effets secondaires d'une importance assez modeste. L'effort du projet porte surtout sur l'amélioration des niveaux de la production agricole. Il crée les conditions pour une diminution de la pression agricole sur les versants et pour la mise en place d'autres aménagements, en élargissant la panoplie des choix techniques, comme ce sera exposé plus loin.

En Haïti, ces techniques s'inspirent de réalisations paysannes comme les seuils en terre construits pour créer des « lagons », zones aplanies créées en fond de talweg utilisées pour la culture du riz. La construction de tels ouvrages est rapide et utilise des moyens en outillage modestes, mais leur fragilité nécessite de fréquentes interventions pour réparer les dégâts provoqués par des crues. Les seuils en maçonnerie construits par le projet de développement agricole durable de Gros Morne s'inspirent également des petites infrastructures d'hydraulique de montagne réalisées par les agriculteurs dans les Cévennes et au Cap Vert.

Les seuils en maçonnerie ont deux objectifs principaux :

- Ils accumulent des sédiments riches en matière organique dans le fond de la ravine traitée et infiltrent les eaux de ruissellement. Ils restaurent ainsi la fertilité des fonds frais pour y reconstituer des micro-milieus humides, propices à la plantation d'espèces à forte valeur ajoutée telles que le bananier, le malanga, l'igname ou des arbres fruitiers. Il s'agit d'un investissement productif dont les bénéfices pour l'agriculteur apparaissent rapidement et persistent dans la durée.
- Ils mettent à la disposition des agriculteurs une réserve en eau pour l'arrosage et l'abreuvement du bétail. Pour faciliter l'utilisation de l'eau retenue, les seuils ont parfois été complétés par des bassins situés en aval ou par des puits creusés dans les alluvions retenues en amont.

Les seuils sont construits là où les conditions sont favorables (accès, proximité d'une aire résidentielle, négociations fructueuses avec les agriculteurs concernés, tenure

⁴ Ce projet bénéficie de financements de l'Union Européenne, du Ministère français des Affaires Etrangères et de dons privés

⁵ Ce projet bénéficie de financements de l'Ambassade de France en Haïti et de dons privés

foncière peu conflictuelle). Des ravines peu pentues ont été privilégiées, car alors le volume d'eau stocké est plus important et le risque de destruction par affouillement est moindre. Des critères économiques ont été pris en compte afin de retenir des sites où les seuils pourront efficacement supprimer un frein à l'augmentation de la production agricole.

Des seuils destinés à durer

Le soin apporté à la conception et à la construction des ouvrages mis en place à Gros Morne doit leur assurer une durée de vie importante : ils sont prévus pour résister aux crues exceptionnelles. Ces seuils ont subi l'épreuve du feu : leur bonne résistance aux crues liées aux cyclones de septembre 2008, dont la fréquence a été centennale, donne des garanties en ce qui concerne leur longévité.

La solidité des ouvrages résulte aussi de l'attention apportée au choix des sites : recherche d'une section rétrécie de la ravine, la roche-mère étant si possible située à faible profondeur, afin de bien ancrer le seuil en maçonnerie. La maçonnerie a été remplacée par du gabion lorsque ces conditions n'étaient pas réunies (lit large et roche-mère à grande profondeur). L'identification de sites propices pour la construction des seuils demande beaucoup de temps et ne peut se faire qu'en saison sèche, quand la végétation est peu développée.

Pour ces aménagements, les débats techniques au sein de l'équipe du projet comme avec des experts extérieurs ont été permanents et se poursuivent. Ils portent sur des aspects conditionnant la solidité de l'ouvrage (dimensionnement, importance des fondations et des ancrages, prise en compte des risques de contournement, de renardage, d'affouillement, etc.). Ils portent aussi sur les techniques destinées à améliorer la valorisation agricole du seuil : utilisation d'une chape de mortier pour créer une surface de séchage, escalier facilitant le franchissement de l'ouvrage, construction d'un puits dans les alluvions retenues et d'un bassin de dissipation en aval, ce dernier permettant aussi de stocker de l'eau.

Les avantages comparatifs des seuils en maçonnerie à Gros Morne

Les seuils en maçonnerie construits à Gros Morne peuvent être comparés aux seuils en pierres sèches ou en gabions construits dans les ravines par d'autres projets ayant comme objectif principal la maîtrise de l'érosion.

Ils se distinguent d'abord de ces derniers par leur finalité, qui est d'améliorer directement et rapidement la production agricole grâce à l'eau retenue derrière le seuil, dans les bassins ou dans les alluvions accumulées.

Ils se distinguent aussi des seuils construits habituellement dans les ravines par leur solidité, car ils sont prévus pour résister aux crues même en l'absence d'entretien. En Haïti, les seuils ayant pour objectif de maîtriser l'érosion ont en règle générale une durée de survie courte là où le ravinement est actif. La maçonnerie en pierres sèches ne permet à l'ouvrage de résister ni au piétinement du bétail, ni à des crues importantes, surtout lorsque les pierres utilisées ont de faibles dimensions. La réalisation des seuils en gabions est souvent déficiente ; les problèmes sont fréquents en ce qui concerne la qualité des gabions, l'ancrage du seuil, la prise en compte du risque de contournement, etc. Ainsi, la plupart de ces seuils n'ont d'effets importants et durables ni sur la production agricole, ni sur le ravinement.

Les seuils en maçonnerie construits à Gros Morne peuvent aussi être comparés avec les retenues collinaires dont l'objectif principal est de créer des réserves d'eau pour l'irrigation et pour l'abreuvement du bétail. Les premières évaluations disponibles sur

de tels aménagements construits sur le Plateau Central montrent un retour sur investissement très faible. Une surface agricole importante est noyée par la retenue créée et surtout, les difficultés rencontrées pour mettre en place une gestion collective de l'eau d'irrigation qui soit efficace réduisent considérablement l'intérêt des retenues collinaires. Celles-ci ne devraient être envisagées que lorsque les conditions sociales permettront le façonnage d'institutions locales performantes.

Les effets positifs des économies d'échelle permises par les retenues collinaires sont en partie gommés par la sous-utilisation de l'eau stockée. Les surfaces irrigables situées en aval de la retenue sont souvent insuffisantes et mal organisées. Des motopompes permettent d'irriguer des zones situées en amont, mais elles sont coûteuses à l'achat comme en frais de fonctionnement. Par ailleurs, leur entretien est aléatoire, ce qui constitue un facteur de risque pour les cultures irriguées.

2.2. Arboriculture fruitière

Le surgreffage du manguier

Les aménagements dans les ravines sont associés à d'autres actions visant à améliorer la production agricole, en particulier le surgreffage des manguiers de la variété Mango fil dispersés sur les versants. Ceux-ci sont bien adaptés aux sols rencontrés, souvent superficiels, mais leurs fruits ne sont pas appréciés sur le marché international. Leur surgreffage avec la variété Francique permet de tirer profit de leur rusticité et d'obtenir dans un bref délai (3 ans) des fruits faciles à commercialiser.

Le projet de développement agricole durable de Gros Morne a surgreffé un nombre important de manguiers. Il a aussi détaillé les opérations nécessaires (prélèvement et préparation des greffons, réalisation de la greffe en fente, conduite des arbres après la greffe, etc.) et des actions de formation-action ont transféré les compétences pratiques à des greffeurs locaux.

Le volet « surgreffage » du projet a permis de toucher directement un nombre important d'agriculteurs et d'ouvrir un dialogue portant sur leur propre perception des problèmes. Il a aussi facilité la familiarisation de l'équipe du projet avec le milieu local.

La plantation d'arbres fruitiers

Le projet de Gros Morne a incité les agriculteurs bénéficiant d'un seuil à planter des arbres fruitiers, en profitant de la protection assurée par les haies vives entourant certaines parcelles afin d'empêcher l'intrusion du bétail. Les avocatiers ont été plantés en bas de versant, là où le sol est le plus fertile et les plants ont été entourés par une sorte de clayonnage constitué de tiges de gommier et de *Leucaena* afin de les protéger contre la dent des chèvres. Ces tiges pourront être utilisées comme macroboutures lorsque la protection des avocatiers ne sera plus nécessaire. Des manguiers ont été plantés dans la partie moyenne des versants ainsi que des citronniers plus haut, là où les sols plus superficiels sont moins bien alimentés en eau.

L'amélioration de la production de la culture de la canne à sucre

Le projet a prévu d'améliorer la production de la canne à sucre en levant la contrainte constituée par la rareté et la vétusté des moulins. Cette culture est non seulement intéressante sur le plan économique, mais également du point de vue de la maîtrise de l'érosion. En effet, une plantation de canne dure plusieurs années et elle protège

bien le sol. En fond de ravine, elle freine les écoulements et s'oppose au creusement lors de crues.

2.3. Les aménagements biologiques

Afin de tirer profit des nouveaux fonds frais, les agriculteurs font des efforts pour clôturer avec des haies vives les espaces aménagés. Ainsi, l'investissement réalisé a déclenché des travaux d'embocagement (ou enclosure) et le projet a accompagné cette dynamique.

Une enquête sur les savoirs paysans

Le projet a conduit une enquête portant sur les techniques paysannes de création et de gestion des haies vives entourant souvent les parcelles cultivées. Elles sont surtout à base de candélabres (*Euphorbia lactea*) et ont pour fonction de protéger les cultures contre l'intrusion du bétail. Là où une telle haie de clôture traverse une ravine, elle constitue de fait un seuil biologique sommaire, même si, en l'absence de filtre, ce dernier ne provoque pas de dépôt de sédiments en amont. Ces haies sont régulièrement taillées pour limiter leur développement et la décomposition des résidus libère des éléments minéraux, notamment de la potasse. Les haies améliorent ainsi la fertilité du fond frais. Ces sortes de « seuils » ont assez souvent résisté aux crues provoquées par les 4 cyclones de septembre 2008 et les agriculteurs ont spontanément colmaté les brèches ouvertes en y plantant du candélabre et des macroboutures de gommier.

La construction expérimentale de seuils biologiques

En s'appuyant sur l'observation de telles réalisations paysannes, le projet a entrepris de compléter la construction de seuils maçonnés par des seuils biologiques situés en amont des premiers, en prévoyant la mise en place d'un filtre. Il a utilisé des espèces diversifiées présentant un intérêt alimentaire, fourrager, mellifère et pour la production de bois. L'appropriation des tels ouvrages par les agriculteurs impliqués constitue un pari que le projet devrait pouvoir gagner. En l'absence d'une gestion effective des seuils biologiques par les agriculteurs, en particulier pour colmater les brèches et entretenir le filtre, leur survie est en effet problématique (alors que les seuils en maçonnerie sont dimensionnés pour pouvoir supporter une absence d'entretien).

Là où, du fait du creusement de son lit, la ravine coule sur la roche-mère, la création de tels seuils biologiques devra s'étaler dans le temps. Dans une première phase, un seuil en pierres sèches temporaire ou un seuil s'appuyant sur des boutures implantées sur les deux rives permettra d'accumuler des alluvions. Une fois un premier dépôt constitué, il sera possible d'y planter les macroboutures destinées à constituer le seuil biologique définitif.

Par ailleurs, les seuils biologiques constituent un obstacle à la circulation à l'intérieur de la parcelle cultivée, le long de la ravine. Le projet devra aider les agriculteurs à créer des itinéraires de contournement des seuils biologiques ou à trouver d'autres formules pour vaincre les réticences liées à ce problème.

La création de « rampes paille » et leur consolidation

Sur des versants cultivés, les agriculteurs construisent souvent des « rampes paille » utilisant les résidus de récolte provenant du nettoyage de la parcelle. Ces rampes sont provisoires et ont un effet négligeable sur l'érosion. A Gros Morne, le projet a

financé leur renforcement par la plantation de boutures de *Gliricidia sepium* (lilas étranger ou pignon) et par le semis de benzolive (*Moringa oleifera*). Ce renforcement rendra les rampes pérennes ; les haies vives ainsi constituées améliorent la production agricole et diminuent l'érosion. Le fait de partir d'une technique traditionnelle pour la faire évoluer devrait ici aussi augmenter les chances de voir cette technique innovante appropriée par les agriculteurs.

Les difficultés rencontrées

L'utilisation de techniques biologiques (seuils dans les ravines, haies vives sur les versants) s'est heurtée à l'absence de références, mais l'observation des pratiques paysannes a fourni des informations précieuses, par exemple en ce qui concerne l'utilisation du candélabre ou de divers bois-repousse.

La disponibilité de certaines macroboutures est limitée, surtout pour les espèces les plus intéressantes. De ce fait, la montée en puissance de l'utilisation des techniques biologiques doit être progressive et le projet doit organiser la multiplication végétative des espèces peu répandues, par exemple en pépinière.

Un problème rencontré est lié à la « mémoire » des projets de CES antérieurs. Les projets finissent par être considérés par l'ensemble des bénéficiaires comme des sortes de vaches à lait, le principal intérêt des aménagements mis en place venant des salaires ou de la distribution de vivres qui sont associés à leur construction. Dans ce contexte, l'appropriation des ouvrages par les bénéficiaires constitue un vœu pieux. Or, les aménagements biologiques ne peuvent pas faire l'économie d'une gestion par l'agriculteur.

Une autre difficulté vient de ce que les aménagements à base de techniques biologiques sont dispersés dans le bassin versant. La gestion des chantiers doit donc être décentralisée, ce qui implique la formation de relais locaux.

Enfin, ces aménagements biologiques, s'ils sont assez peu coûteux tout en améliorant la fertilité du fond frais et en stabilisant la ravine, ont l'inconvénient d'être peu photogéniques, contrairement par exemple aux seuils en dur dans les ravines ou aux canaux de contour qui strient tout un versant et sont visibles de loin.

Les perspectives d'avenir

S'inspirant de techniques paysannes validées en Haïti et valorisant un matériel végétal d'une diversité exceptionnelle, les techniques biologiques présentent probablement un potentiel important pour créer des fonds frais fertiles en améliorant leur production agricole, pour traiter le ravinement et pour cloisonner les versants (embocagement). Pour gagner le pari que constitue leur diffusion, le projet a privilégié une introduction prudente et progressive, en complément de techniques pour lesquelles la demande paysanne est plus évidente, comme les seuils en maçonnerie. En effet, l'eau stockée par ces derniers réduit les risques liés aux irrégularités climatiques pour les cultures en pluvial, ce qui est très apprécié. La contrainte forte que constitue la pénurie d'eau pour l'arrosage et pour l'abreuvement du bétail est clairement perçue par les agriculteurs.

Les seuils en maçonnerie répondent ainsi à des attentes paysannes faciles à mobiliser même là où la mémoire des projets est prégnante. Pour ces ouvrages, l'ambiguïté d'une demande paysanne qui privilégie l'intérêt à court terme de l'aménagement (en termes de salaires, par exemple) ne constitue pas un problème majeur et, de ce point de vue, une rupture n'est pas nécessaire avec les projets de conservation des sols habituels ; les chantiers ne sont pas très différents de ceux

auxquels les agriculteurs sont habitués. Le succès de tels aménagements en dur n'est pas conditionné par un changement de la « culture de projet » paysanne ; une appropriation limitée n'aura pas d'effet immédiatement visible dans la mesure où les ouvrages sont conçus pour résister aux crues même exceptionnelles.

Maintenant que les paris relatifs à ces seuils en maçonnerie sont en bonne voie d'être gagnés, le projet entre dans une phase où la diversification des techniques utilisées passe au premier plan et où il faut répondre à de nouveaux défis.

3. Projet de développement agricole durable de Gros Morne : aspects non-techniques

Si nous voulons que les projets de CES formulés en Haïti tirent profit de l'expérience du projet de développement agricole durable de Gros Morne, il faut analyser quelques innovations moins évidentes mises en œuvre par ce dernier. Une telle analyse a été facilitée par l'implication dans les débats techniques d'un expert ne faisant pas partie de l'équipe du projet, mais ayant une longue expérience en matière de projets de gestion conservatoire des eaux et des sols en Haïti, en France et dans d'autres pays du Sud. La mise en perspective du projet de Gros Morne considéré comme un « dispositif » traduit en partie le point de vue de cet expert qui a porté un regard extérieur sur ses aspects non-techniques.

L'intérêt du projet de Gros Morne ne réside pas seulement dans les choix techniques effectués, même s'ils constituent la partie la plus visible des innovations proposées. D'autres changements sont plus discrets.

3.1. Un travail artisanal, des aménagements « sur mesure »

Un intérêt majeur de ce projet est lié à la mise en œuvre d'une démarche que l'on peut qualifier d'artisanale et qui a permis de définir des aménagements « sur mesure », finement ajustés aux sites et bénéficiant d'un retour d'expérience en temps réel. A l'inverse, la recherche d'économies d'échelle conduit la majorité des projets de CES à adopter une démarche que l'on peut qualifier d'industrielle, au détriment d'un ajustement fin de chaque aménagement aux conditions d'un site et d'une valorisation réelle du retour d'expérience.

A Gros Morne, l'adoption de cette démarche artisanale a été favorisée par la modestie du projet (un budget de 500 000 € sur 3 ans) qui est à taille humaine, si l'on peut dire. Mais la taille du projet n'explique pas tout. Sa réussite passe aussi par la forte implication d'un « maître artisan » mobilisant un savoir d'expérience important et manifestant un intérêt passionnel pour les petites infrastructures d'hydraulique des mornes. Cette passion associée à une solide culture de terrain s'est traduite par une sorte de fièvre expérimentatrice permanente. Ce maître artisan a été le porteur de l'expérience de recherche-formation de Madian-Salagnac ; il a su faire parler les paysages et écouter les agriculteurs avant de définir les aménagements à la suite de ces diverses « conversations ».

3.2. Une disponibilité importante

La familiarisation avec les paysages, la recherche de sites possibles puis les négociations avec les agriculteurs et le suivi des chantiers ont demandé une disponibilité importante au « maître artisan ». Les techniciens⁶ qui ont suivi le projet

⁶ Saintil CLOSSY et Jocelyn CANTAVE (pour le projet ZLP sur le Plateau Central).

en étant sur place de façon permanente ont peu à peu pris sa relève, au fur et à mesure que leur formation par compagnonnage a progressé. Pour un projet artisanal, la formule « le temps, c'est de l'argent » n'a pas cours.

Les esprits pessimistes pourraient en déduire qu'un tel projet ne serait pas répliquable ailleurs en Haïti, vu la rareté d'agronomes et d'ingénieurs civils possédant de telles qualifications et une telle disponibilité. Mais, comme nous le verrons plus loin, les outils modernes qui sont maintenant à notre disposition (orthophotoplan, photo numérique, SIG, GPS, Internet) permettent d'envisager une formation rapide d'agronomes « de terrain » maîtrisant des compétences similaires.

La qualité du leadership et du suivi

Le travail de formulation d'un projet de conservation des sols habituel est réparti entre plusieurs spécialistes, ce qui conduit à des cloisonnements. Les efforts pour intégrer les informations produites lors des études sont rarement efficaces. Une autre coupure apparaît pour de tels projets entre leur formulation et leur mise en œuvre, le passage de relais entre les deux équipes étant en général défailant. Or, la réussite d'un projet de gestion conservatoire des eaux et des sols est liée à une bonne familiarisation avec la zone concernée de l'équipe chargée de sa mise en œuvre, le succès ne peut pas être obtenu par l'application rigoureuse d'un devis détaillé et d'une méthodologie participative donnée.

Les problèmes de pilotage et de suivi sont fréquents au niveau des projets de CES importants de par leur taille. Le projet de développement agricole durable de Gros Morne a bénéficié d'un leadership efficace. Son pilotage a été facilité par sa taille modeste, mais aussi par le sens du terrain, le charisme et la disponibilité de l'agronome responsable de sa formulation et de son suivi et des compétences complémentaires du réseau mobilisé⁷. Grâce à ce leadership, le suivi des réalisations a été bien assuré et la circulation de l'information fut bonne. L'utilisation intensive de la photo numérique et de l'orthophotoplan a facilité un retour d'expérience efficace et a permis d'impliquer le comité de pilotage dans les débats techniques.

3.1. Une intervention évoluant par itérations successives

Comme déjà évoqué, les attentes paysannes concernant un nouveau projet sont formatées par les projets de conservation des sols antérieurs ; la « mémoire des projets » ainsi construite conduit à une « langue de bois » paysanne. La « demande paysanne » est en grande partie déterminée par les spéculations sur les bénéfices immédiats (en particulier sous la forme de salaires) procurés par la réalisation de divers aménagements.

Les projets assurent aussi un formatage de structures locales pilotées par des notables qui permettent à ces derniers d'en tirer des bénéfices et de renforcer leur emprise sur la société locale, mais dans le cadre d'échanges fortement inégaux. Un projet qui veut innover pour améliorer réellement la production agricole doit faire avec la volonté de tels groupements et autres « organisations paysannes » de se constituer en intermédiaires obligatoires entre lui-même et les agriculteurs.

Le déroulement dans le temps du projet de développement agricole durable de Gros Morne a été pensé comme une succession de paris. Une conscience aigüe des

⁷ Un comité de pilotage d'une douzaine de personnes a été constitué.

risques de dérive liés à des paris irréalistes ou prématurés a stimulé un intérêt quasi obsessionnel pour le suivi des aménagements et le retour d'expérience.

Ainsi, le caractère artisanal du projet se traduit par une prise en compte fine des attentes et des contraintes, mais aussi de leur évolution au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Le succès du projet n'est pas en rapport avec l'application d'une quelconque méthodologie, mais résulte plutôt d'une succession de paris raisonnables portant sur ce qu'il est possible de faire à un moment et sur un site donnés et sur ce qui relève encore de l'utopie. Autrement dit, le projet a mis en œuvre une stratégie considérée comme l'art de définir à tout moment le meilleur compromis entre le souhaitable et le possible, ce compromis évoluant en fonction des résultats obtenus. La maîtrise de l'art de composer avec les opportunités et avec les contraintes caractérise le praticien, elle est au cœur de son métier.

Ces ruptures par rapport aux projets de conservation des sols habituels permettent de comprendre le succès des aménagements mis en place et de prévoir les difficultés probables d'une diffusion plus large des innovations introduites. L'expérience a montré que la différence fondamentale qui existe entre une démarche de praticien pragmatique et celle mise en œuvre dans une majorité de projets de conservation des sols est méconnue. Les modalités de l'ajustement des interventions au terrain et de leur adaptation à l'évolution de la situation diffèrent de celles observées dans les projets pensés comme l'application d'une méthodologie, même si celle-ci prévoit la participation des bénéficiaires aux décisions.

4. Comment diffuser l'innovation ?

4.1. *Un pari : dépasser les changements de mode*

En Haïti, les projets de CES mettent en œuvre un ensemble de techniques qui ont évolué avec les temps et avec les préférences de tel ou tel bailleur de fonds. Ces projets constituent une mosaïque d'interventions assez disparates ; certaines techniques (comme par exemple les canaux de contour ou fossés d'infiltration) tombent en désuétude, d'autres comme les haies vives ont le vent en poupe. Cependant, une longue connaissance des projets de CES montre que ces changements résultent davantage d'effets de modes que d'une valorisation de l'expérience acquise. Par ailleurs, même des techniques a priori intéressantes, comme les haies vives, obtiennent rarement les effets prévus du fait d'un pilotage déficient du projet sur le terrain.

Nous formulons l'hypothèse que l'évolution des choix techniques restera erratique aussi longtemps que les conditions ne seront pas plus favorables à un remodelage du projet considéré comme un dispositif et au retour d'expérience à partir des interventions mises en place. En Haïti, le projet de conservation des sols donne beaucoup de pouvoir aux spécialistes et aux experts, tout en mettant le paysan sur un piédestal et en préconisant la démarche participative. L'agronome de terrain, situé en position d'intermédiaire, est le perdant dans cette situation si l'on compare son rôle avec celui qu'il a dans des pays où la culture de terrain existe. Il ne peut pas remplir la fonction d'intermédiation qui devrait être la sienne, peu d'information remonte du terrain, les débats techniques sont mal ancrés dans les réalités des projets. Les enjeux de pouvoir sont très présents derrière les débats méthodologiques. Bref, le praticien n'est pas en mesure d'assurer un pilotage en temps réel de la mise en œuvre du projet, en valorisant les informations obtenues à partir des premières réalisations.

4.2. Fragmenter les grands projets

Les bailleurs de fonds ont pris l'habitude de financer surtout de grands projets de conservation des sols et il est difficile de revenir en arrière sur ce point. Le projet est souvent pensé comme un supermarché où le paysan serait le client. Il faut alors le convaincre d'acheter les articles disponibles en rayon, son choix étant limité à un petit nombre de produits. Certes, de même que « le client est roi », « le paysan est au cœur du projet », mais la réalité n'a qu'un rapport lointain avec ces nobles intentions. La mise en œuvre d'une démarche plus « artisanale » va à l'encontre d'une marchandisation constituant le praticien en prestataire de services et l'agriculteur en client.

Pour réaliser des aménagements sur mesure ayant des effets durables, il sera nécessaire de fragmenter les grands projets en un ensemble de sous-projets de taille humaine et relativement autonomes. Ainsi, le projet global sera plutôt un programme, le détail des interventions étant précisé au niveau de chacun des sous-projets.

Les procédures qui organisent la division du travail entre l'équipe de formulation du projet et celle chargée de la réalisation sont adaptées à la réalisation de grands travaux d'équipement. Elles devront être réaménagées pour tenir compte de la spécificité des projets de gestion conservatoire des eaux et des sols. Des documents multimédia seront produits lors de la formulation et ils faciliteront le passage de relais entre l'équipe de formulation du projet et celle chargée de sa réalisation. Ainsi, en plus du document de projet, des reportages photographiques géoréférencés et commentés, complétés par les cartes et les orthophotoplans des zones d'intervention, permettront une première familiarisation avec celle-ci lors d'un briefing conséquent. Des descriptions des systèmes de production agricoles et de leur dynamique compléteront ces reportages.

4.3. Conforter le statut du praticien leader d'un projet

Pour chacun de ces sous-projets, le rôle d'un praticien leader devra être clairement défini. L'idéal serait qu'il soit impliqué dans la formulation du projet, mais compte-tenu des procédures en vigueur, ce sera rarement possible. Un briefing permettra alors une prise de contact avec la zone d'intervention du projet.

L'aspect « génie civil » est important lorsque le projet prévoit la construction de seuils en maçonnerie. Le praticien leader devra alors compléter sa formation dans ce domaine afin de pouvoir dialoguer avec le spécialiste en génie civil éventuellement recruté. Sinon, l'un des risques est de voir ce spécialiste appliquer de façon rigide des règles techniques établies ailleurs, pensées à tort avoir une valeur universelle.

Pour stimuler le débat technique et capitaliser les informations à partir des projets de gestion conservatoire des eaux et des sols, il faut ainsi restaurer le rôle du praticien et lui permettre d'être un relais avec le terrain, un médiateur. En Haïti, vu la rareté de praticiens ayant une connaissance intime du terrain, les débats techniques sont souvent interminables et stériles, car tout devient une question d'opinion et d'autorité. Ainsi, dans le contexte actuel, un projet de CES (dont nous tairons le nom) a pu se constituer en modèle grâce à une politique de marketing efficace et à quelques soutiens, alors même que ses résultats sont désastreux pour qui les a observés sur le terrain. La valorisation d'expériences réellement innovantes n'est pas facile dans un tel contexte.

Des praticiens ayant acquis une connaissance du terrain (au sens étymologique de « naître avec », ce qui implique la durée nécessaire à une familiarisation) sont en mesure d'organiser un retour d'expérience efficace et de capitaliser les savoirs

acquis dans les projets, développant ainsi une intelligence collective. L'implication forte d'un praticien expérimenté constitue un élément-clé du succès d'un projet de gestion conservatoire des eaux et des sols ; la réussite n'est pas seulement une affaire de méthodologie, contrairement à une opinion largement répandue.

4.4. Des actions de formation pour développer une culture de terrain

Pour le praticien chargé du leadership d'un projet, l'acquisition d'un savoir d'expérience résultera de stages de formation continue valorisant les reportages photographiques déjà réalisés ainsi que d'autres documents de formation. Ces stages alterneront des analyses menées sur le terrain sur le site de l'un des projets de gestion conservatoire des eaux et des sols, le travail sur des reportages concernant d'autres projets et l'acquisition des compétences nécessaires à la réalisation de tels outils de suivi, parfois aussi appelés dispositifs facilitateurs. Un stage de ce genre avait déjà été organisé à Marmelade en 2005.

La rareté en Haïti de « maîtres artisans » disposant d'un riche savoir d'expérience constitue un obstacle important à la mise en œuvre d'une démarche adaptée aux projets de développement. Mais cette difficulté doit être relativisée : l'alternance entre le travail sur un site déjà aménagé et celui sur des terrains virtuels, en valorisant les savoirs d'expérience déjà disponibles, permet maintenant un développement du sens du terrain plus rapide que le compagnonnage à l'ancienne, qui assurait le partage des savoir-faire entre un maître artisan et un compagnon. Les nouveaux outils (photo numérique, orthophotoplan ou imagerie Google Earth, SIG, GPS, Internet) constituent une opportunité dans ce domaine.

De tels stages de formation continue seront l'occasion de valoriser les expériences et les connaissances produites par des projets de CES et de structurer un réseau des praticiens. Cette structuration serait facilitée par la création d'un centre de ressources national ayant précisément pour fonctions de stimuler les échanges d'expérience entre les projets et de faciliter la capitalisation des connaissances produites. Il permettrait ainsi de développer l'intelligence collective qui fait actuellement défaut.

Ainsi, d'un côté il semble nécessaire de fragmenter les grands projets de conservation des sols en sous-projets à taille humaine, mais d'un autre côté, il faudrait développer les échanges et les liens entre ces derniers, bref, favoriser la formation d'un réseau de praticiens et stimuler l'intelligence collective.

5. Conclusion

Le contexte actuel en Haïti est caractérisé par une forte dégradation des ressources et une importante pauvreté. Mais un autre aspect est tout aussi important. Depuis plus d'un demi-siècle, les projets de conservation des sols se succèdent dans ce pays, accompagnés de débats méthodologiques et de propositions souvent intéressantes et généreuses. Mais pour qui a participé à ces débats, formulé des propositions et analysé les effets des projets, un constat s'impose : les effets des idées avancées sur les pratiques des projets sont analogues aux effets des projets de conservation des sols sur le développement et sur la maîtrise de l'érosion, c'est-à-dire dérisoires sinon contreproductifs. La nécessité d'analyser ces diverses neutralisations s'est imposée à nous, elle nous a invités à dépasser le cadre d'un article pour agir sur les cultures professionnelles comme sur les routines des projets.

En effet, les choix techniques et stratégiques qui sont illustrés par le projet de développement agricole durable de Gros-Morne ou celui de Caye Epin ont de fortes

chances d'être considérées comme des opinions, comme des idées. C'est pour éviter cette sorte d'enterrement qu'en liaison avec ZLP, l'IRC-SUPAGRO et le Comité de Pilotage de SOS ESF rassemblant une dizaine de cadres haïtiens, nous travaillons sur des outils multimédia et sur des récits pour faciliter le développement d'une culture de terrain chez les praticiens. Mais une telle culture ne présente d'intérêt que si, en parallèle, nous réussissons aussi à faire évoluer le dispositif projet. Il s'agit là de paris ambitieux et cet article peut améliorer les chances de les gagner, s'il réussit à associer d'autres acteurs à cette entreprise collective.

6. Bibliographie

- Brochet** Michel. 1993 Les stratégies de lutte contre l'érosion et l'aménagement des bassins versants en Haïti. Revue Tiers Monde.ref
- BDPA** 1989.Gestion des ressources naturelles en vue d'un développement durable en Haïti., rapport intérimaire. ref
- Bellande** Alex 2008 Déboisement et reboisement en Haïti : quelques éléments pour comprendre et agir. Ref, pages
- Bellande** Alex Impact socioéconomique de la dégradation des terres en Haïti et interventions pour la réhabilitation du milieu cultivé. UNDP-Ministère de l'Environnement Octobre 2007. ref
- Bourdieu** Pierre. 1980 Le Sens pratique Minuitref
- Certeau** (de) Michel 1990 L'invention du quotidien 1. Arts de faire. Gallimard pages
- Degras** L. 2005 Le jardin créole. Repères culturels, scientifiques et Techniques. Ed. Jasor. Archipel pagesdes sciences.
- Ferguson** James. The anti-politics machine. Development, depoliticization and bureaucratic power in Lesotho U. of Minnesota Press, année, ref pages
- Guito** Régis. 1999 Manuel pratique de CES d'Haïti. Centre de Formation en Aménagement Intégré des Mornes, Limbépages
- Hobart** Mark 1995 An anthropological critique of development, the growth of ignorance. Ed. 1993 EIDOS Ed. pages
- Koohafkan** A. P. et Lilin Charles 1989 Arbres et arbustes de Haïti. Utilisation des espèces ligneuses en conservation des sols et en aménagement des bassins versants. FAO-MARNDR , pages
- Le Goff** Jean-Pierre. 1999 La barbarie douce La modernisation aveugle des entreprises et de l'école. La Découverte , pages
- Lilin** Charles et Koohafkan A. P. 1987.Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti.MARNDR et FAO, pages
- Lilin** Charles 2009 Du Nord au Sud : prudence et sens du jeu dans la gestion de projet. la *Révue Gérer et Comprendre* (Annales des Mines) N°95., pages
- Murray** Gerald F. 1979. Terraces, trees and the Haitian peasant : an assessment of 25 years of erosion control in rural Haiti. USAID, ref pages
- Ostrom** Elinor, 1992 Pour des systèmes irrigués autogérés et durables : façonner les institutions. traduit et résumé par Philippe Lavigne-Delville (GRET). Titre original : Crafting institutions for self-governing irrigation systems. ICS Press pages
- Roose** Eric 1994 Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin pédologique de la FAO* N°70. , 420 p.
- SACAD et FAMV**, 1994 Paysans, Paysages en Haïti. Travaux sur l'agrarie haïtien. Tome III : Dynamique de l'exploitation paysanne.ref, pages
- Sardan** (de) J-P. Olivier & Elisabeth Paquot 1991 D'un savoir à l'autre. Les agents du développement comme médiateurs. GRET Dir.pages
- Séverin** François. 2002 Plant ak pyebwa te dayiti. Ed. Quital.
- Smolikowski B., 1993. La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antérosive en Haïti. Cas du transect Petite rivière de Nippe-Salagnac-Aquin dans le sud d'Haïti. Cah.ORSTOM Pédol.28, 2 : 229-252.
- USAID**, 2007 Environmental vulnerability in Haiti. Ref, pages

Influences de la fertilisation et de la gestion de la biomasse sur la production de couverts permanents en milieu montagnard tropical densément peuplé (Burundi)

Hervé DUCHAUFOUR
herve.duchaufour@wanadoo.fr

Résumé : Les exploitants burundais ont su se préserver des nombreuses crises qui se sont présentées devant eux en développant la bananeraie agroforestière. Les agronomes belges considéraient déjà à l'époque la « jachère » à bananeraie comme une technique de conservation et de restauration des sols qui présente le double intérêt d'être productive et totalement endogène.

Que son taux de couverture soit dense ou éclairci, les essais de l'ISABU, réalisés en milieu réel, montre que la bananeraie a des répercussions économiques importantes sur l'exploitation et contribue à la préservation et l'évolution de la fertilité organo-minérale des sols. Une gestion optimale de tout le stock organique excédentaire de la bananeraie réduit en moyenne de 3,6 fois les taux de ruissellement et de 3,3 fois les pertes en terre par rapport à la même bananeraie conduite traditionnellement (déchets exportés vers la caféière). Les travaux de l'IRAZ confirment ces résultats mais soulignent que la conservation des sols ne se suffit pas à elle même pour maintenir la productivité. Une fumure organique de 10, 20 puis 30 t/ha/an est apparue nécessaire pour réduire les carences en NPK.

Les études de l'ADEPRINA menées sur l'ensemble du territoire burundais démontrent la forte valeur ajoutée/actif de la bananeraie qui se trouve être la mieux placée parmi les systèmes de culture et dépasse la caféière, culture de rente de prédilection. Cette dernière immobilise de trop grande quantité de biomasse en raison du paillage obligatoire et consomme une quantité de main d'œuvre (5,2 jours/are/an) bien supérieure à la bananeraie qui ne demande que 1,7 jours/are/an ce qui monopolise davantage l'intérêt des burundais.

La production fumière a toujours suscité l'intérêt des exploitants par laquelle ils valorisent leur journée de travail essentiellement par la concentration de la fertilité dont bénéficient les parcelles. Les associations arbre-culture-élevage, pratiquées depuis des temps séculaires, sont paradoxalement les plus souhaitées mais aussi les plus pratiquées par les agriculteurs des régions où l'emprise sur la terre est la plus forte (300 à 600 h/km²). Par le jeu de la densification du couvert végétal, notamment à travers la juxtaposition des jardins multi-étagés qui ceignent les ruzizi (habitations), les terres se trouvent mieux protégées et plus productives jusqu'à un seuil où peut s'amorcer un processus de décapitalisation irréversible, notamment dans les zones périurbaines (≥ 1000 hab/km²), faute de capital productif et de moyens monétaires suffisants.

Mots-clés : Burundi, Bananeraie agroforestière, caféière, agriculture-élevage, paillage, fumure organique, capital fertilité, valeur ajoutée/actif.

Influences of fertilization and biomass management on productivity of permanent covers in highly populated tropical mountain environment (Burundi)

Summary: Burundi farmers had managed to protect themselves against the numerous crisis they faced by developing banana plantation in agroforestry. At that time, Belgian agronomists already considered, the banana fallow as a soil conservation and restoration technique which presents the double interest to be productive and totally endogenous.

Whether the cover is dense or clear, the ISABU trials, carried out in the real world, show that banana plantations have significant economic impacts on the farm and contribute to the preservation and evolution of organo-mineral soil fertility. An optimal management of the whole organic stock surplus from the banana plantation reduces water runoff rate in average by 3.6 times and soil losses by 3.3 times compared to the same plantation conducted in a traditional manner (waste exported to the coffee plantation). Those results are confirmed by the works of IRAZ, while underlining that soil conservation cannot in itself

sustain productivity. Organic fertilizer, at a 10, 20 and 30 t/ha/year application rate, was necessary to reduce deficiency in NPK.

ADEPRINA works, conducted throughout Burundi's territory, show the high-added value/assets of banana plantation as opposed to the other cropping systems, including coffee, the most preferred cash crop. This latter immobilizes too large an amount of biomass as a result of mandatory mulching and utilizes an amount of labor (5.2 days/are/year) well above the banana plantation that requires 1.7 days/are/year, observation that meets the most Burundi people's interest.

Organic fertilizer production has always attracted farmers as it values their workday essentially by the concentration of fertility to their lands. Paradoxically, the associations tree-crop-livestock, in use since the most ancient times, are not only the most desirable, but also the most practiced by farmers where the control on lands is the highest (300 to 600 h/km²). Thanks to the densification of the vegetation cover, notably through the juxtaposition of the multistoried gardens which surround the rugo (houses), the lands are better protected and more productive up to a threshold where an irreversible decapitalization process can start, notably in the suburban areas (≥ 1000 people/km²), due to lack of production capital and sufficient monetary means.

Keywords : Burundi, Banana and agroforestry, coffee plantation, agriculture-livestock, mulching, organic fertilizer, fertility capital, added value/assets.

Introduction

Soumis à des conditions climatiques tropicales chaudes et humides mais tempérées par l'altitude, le Burundi possède des conditions agro-écologiques favorables au développement d'une agriculture prospère. La population, essentiellement paysanne (92 % de la population totale soit 7,2 millions d'habitants) est cependant totalement dépendante des productions vivrières de ses terres et peut se trouver en rupture avec son milieu : diminution des surfaces cultivées par exploitation, disparition des jachères, mise en valeur des terres de plus en plus marginales aux pentes fortes et aux sols moins riches.

Cette évolution pourrait avoir des conséquences dramatiques si les paysans burundais n'avaient su adapter leurs méthodes de production au rythme des changements du milieu, la densité de population n'étant pas un facteur défavorable à l'environnement. Si la manifestation de l'érosion et la baisse de fertilité des sols ont été souvent décriées, il n'en demeure pas moins que la mise en valeur des terres est devenue pour les paysans burundais un enjeu dont peut dépendre leur propre avenir. Ainsi, poussés par leurs propres initiatives, avec ou sans l'aide des chercheurs et des projets, les paysans burundais ont démontré qu'ils pouvaient adapter et faire évoluer leurs pratiques culturelles traditionnelles en les perfectionnant dans leur arrangement structural (différentes strates de production) et leur complexité (associations arbres-herbacées-cultures dans un même espace). Les couverts végétaux permanents de l'agriculture burundaise et les différents modes de gestion de la fertilité qui y sont pratiquées constituent de la sorte de parfaits exemples de mutation du monde rural burundais.

1. L'équilibre ressources – besoins – population est-il menacé ?

1.1. Le cumul du « capital fertilité » par la bananeraie

Les chiffres sur la densité de population présentent de fortes variations interrégionales : certaines provinces approchent 500 habitants au km² alors que

d'autres sont encore en dessous de la barre des 100 ; certaines collines dépassent même 1000 habitants/km². A en croire de nombreux écrits (trop nombreux pour les citer) la relation entre la densité de population, l'érosion et les systèmes agraires devrait suivre une logique : habitat très dispersé, agriculture « de rapine » extensive peu productive, surpâturage, pratique déplorable des feux de brousse et déforestation dans les régions les plus désertiques et inversement habitat regroupé dans un paysage dégradé par la surexploitation des terres et exode vers les pools urbains dans les régions à fortes concentrations humaines. Si cette version peut être facilement contredite, c'est qu'il existe au sein des ménages ruraux burundais des capacités d'adaptation remarquables qui contrecarrent tous les pronostics des experts.

Depuis longtemps les Burundais ont en effet su écarter les **nombreuses crises** qui se sont présentés devant eux en exploitant et gérant mieux leurs ressources sans épuiser le sol. Ils ont augmenté la productivité par une gestion élaborée et laborieuse (de génération en génération) du capital fertilité¹ en intensifiant la bananeraie agroforestière. Cette dernière permet de faire vivre et monétariser des familles malgré les pentes fortes ; par sa couverture protectrice, elle prévient les risques graves d'érosion hydrique et de glissement de terrain. Elle est toujours entretenue avec tous les excédents organiques de l'exploitation, enfin elle permet de regrouper et réduire les charges de travail lorsqu'elle est associée au vivrier. Il n'est d'ailleurs pas rare d'observer sous le couvert des plus belles bananeraies agroforestières, des systèmes de culture complexes associant sur la même surface jusqu'à cinq à six cultures différentes. De même, d'autres exploitations, de plus en plus rares, ont su préserver tous les avantages de l'association agriculture-élevage malgré la réduction de la SAU par actif, la diminution des surfaces pâturables consécutives à l'accroissement des surfaces cultivées et des reboisements de crêtes.

Toutes ces transformations constituent des exemples d'évolution remarquables qui démontrent l'ingénieuse adaptation des familles rurales qui ont su par le biais de la bananeraie accumuler du capital au cœur de l'exploitation. COCHET affirme même qu'au fur et à mesure de son extension, le bétail devient de moins en moins indispensable au maintien d'un capital-fertilité durable : « *Tout se passe comme si l'extension de la bananeraie supplantait progressivement la multiplication du troupeau comme mécanisme fondamental d'accumulation du capital* » (COCHET, 1993 - 2001). Des bananierculteurs disent souvent que la bananeraie représente symboliquement leur vache (BENDJEFFAL et al, 1993, COCHET, 2001). COCHET ajoute que les exploitants qui ont acquis récemment un parcellaire de 2 hectares dans une des régions d'accueil de migrants (Moso ou Buyogoma par exemple) sont en fait des semi-prolétaires car ils accusent un retard considérable et un handicap de départ long à rattraper par rapport aux natifs de la région. Ces gros propriétaires débarquent sans main d'œuvre abondante, sans épargne, ni outils nécessaires pour commencer à travailler. N'ayant ni stock, ni argent à leur arrivée, ils vendent leur force de travail sans prendre le temps de valoriser leur terre et la bananeraie presque inexistante est très peu productive. COCHET signale que huit années après leur installation, certains d'entre eux sont

¹ Concept introduit par H. COCHET en 1993 et développé notamment dans COCHET 1996, 2001 et 2004

encore dans l'incapacité de subvenir à leurs besoins sans vendre à l'extérieur une partie de leur force de travail (= 25 000 à 30 000 Fbu/actif/an en 1992)².

Les ingénieurs agronomes belges du temps de la colonie avaient remarqué également les bénéfices de la bananeraie sur l'évolution de la fertilité des sols. A la station de Malungu (ex-Zaïre), les examens des sols des bananeraies de 10 ans d'âge étaient meilleurs que la majorité des terres laissées en friche (HENDRICKX et HENDERICKX 1948). Ils présentaient tous une couche arable très humifère, spongieuse tel un véritable terreau constituant un obstacle efficace à l'érosion et maintenant le sol dans un état de fraîcheur remarquable. L'épais horizon grumeleux sous-jacent très humifère et très frais est parcouru par une multitude de racines ; il représente l'ancienne couche arable. Tous les profils sous bananiers à forte densité sont caractérisés par une grande fraîcheur. Sous la brousse naturelle, l'horizon de surface est relativement grumeleux et humifère mais sec et l'horizon sous-jacent forme une couche assez compacte, sèche et ne possède pas de racine.

Ces auteurs en concluent que la bananeraie présente d'importants avantages par rapport à la friche :

- Apport considérable de matières organiques en surface (accumulation de 10 cm de terreau en 10 années soit 1 cm par an !). Cet enrichissement superficiel constitue un obstacle puissant à l'érosion et une garantie contre l'incinération ;
- Couche arable plus épaisse ;
- Horizon d'infiltration nettement caractérisé dans le profil sous bananiers. Il est dû vraisemblablement à la pénétration en profondeur de matières humiques formées en grandes quantités par la décomposition des déchets organiques qui recouvrent le sol ;
- Présence de racines à 80 cm de profondeur sous le profil de la bananeraie alors que le profil de la friche naturelle les radicules sont présentes en grand nombre dans la couche arable, mais rares dans les horizons inférieurs.

La conclusion de cet examen va donc nettement en faveur de la bananeraie. Les auteurs soulignent même, alors qu'à l'époque les éclaircies étaient recommandées, que de toutes les cultures pratiquées par « l'indigène », celle du bananier abîme le moins le sol. A l'exception du danger de l'alcoolisme, ils y verraient avantage à étendre les bananeraies, ce qui éviterait la dégradation des terrains et jouerait un rôle très important dans l'économie locale.

Ainsi, après avoir pris soin d'observer les effets de la bananeraie sur le terrain, ces auteurs proposent **la jachère à bananeraie** comme une technique de préservation du sol à l'érosion et de cumul de fertilité. Il s'agit en effet d'une technologie endogène à l'exploitation burundaise que les agriculteurs burundais ont adapté à leur manière dans l'idée bien entendu de cumuler la fertilité. HENDRICKX et HENDERICKX suggèrent une mise en valeur d'une friche par débroussaillage suivis de la mise en place de bananiers distants tous les 2 mètres (à farine et à cuire, précise-t-il) laquelle précède toute autre plantation. Les cultures suivant une rotation se font entre les bananiers durant deux années en terminant par le haricot si le

² En 1992, 42 Fbu ≈ 1 Franc Français ≈ 0,2 \$US 275 Fbu = 1 euro ou 200 Fbu = 1 \$US

couvert des bananiers n'est pas encore trop dense. Cette rotation assure au moins dix-huit mois d'entretien aux bananiers et leur permet de se développer normalement. Là où il est à craindre que les bananiers se développent trop rapidement, l'écartement entre les stipes pourra être augmenté. Lorsque la bananeraie est en production, il suffit à l'agriculteur d'établir les travaux d'entretien courants et de récolter les régimes. Chaque année une nouvelle portion de terrain destinée aux cultures sera mise en valeur et après une dizaine d'années environ tous les bananiers de la première sole seront abattus en commençant une nouvelle rotation. HENDRICKX et HENDERICKX n'ont en fait proposé que le terme de jachère (productive) à bananeraie en empruntant la technologie à la coutume du pays. Les agriculteurs l'ont amélioré en l'adaptant au système de production et de monétarisation qu'ils ont choisi.

Les bienfaits de la bananeraie ont été démontrés avec un aperçu de l'état qualitatif des sols rencontrés dans les deux bassins versants expérimentaux de Cirisha et de Nyarumpongo de l'ISABU (DUCHAUFOR, 1993, DUCHAUFOR et al, 2009). Les résultats des analyses de la carte pédologique et des suivis de parcelles en milieu réel dans le Mumirwa central (cf. carte 1 en annexe) confirment ce point de vue (CHANTRAINE, 1991, BIMENYUMUREMYI, NIJENAHAGERA, LECUYER, 1991 à 1993 et DACHARY et RURIHAFI, 1992 et 1993). Cependant, la fertilité naturelle de départ est prépondérante pour obtenir un effet optimal de la jachère améliorée. En condition desséchante (sols superficiels) et peu fertile, la restauration par la bananeraie ne sera pas aussi rapide ni bénéfique qu'en sol profond et naturellement humifère. Les agriculteurs savent parfaitement qu'un bananier ne répondra dans ce cas qu'après avoir apporté massivement de la matière organique. Le bananier s'accommode en revanche parfaitement d'une terre moyenne s'il fait l'objet d'un minimum de soins cultureux.

1.2. La bananeraie : comparaison de son couvert protecteur avec la caféieraie et le couvert forestier

Trois couvertures pérennes ont fait l'objet de suivi expérimental : la caféieraie avec sa couverture paillée rendue obligatoire dès la colonie belge, une pineraie avec sa litière d'aiguille de pin et la bananeraie étudiée suivant deux conduites différentes.

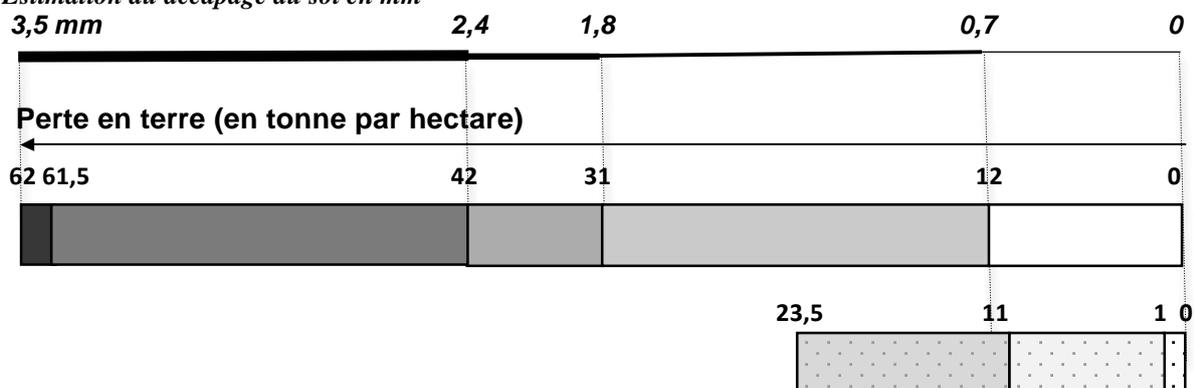
De nombreuses études sur plusieurs continents et sous différents climats ont démontré que sous couverts denses, l'érosion est toujours négligeable. Sous forêts ombrophiles, jachères naturelles épaisses ou prairies permanentes non dégradées, elle est de l'ordre de 0,01 à 1,5 T/ha/an avec des ruissellements compris entre 0,5 à 5% en moyenne, exceptionnellement plus pour les averses décennales. L'écran total est bien le meilleur moyen de protéger le sol.

Tableau 1 : Comparaison des indices du couvert végétal (C) et protecteur (P) de trois principaux couverts permanents burundais (bananeraie, caféière paillée et plantation de pin)

PEDO-PAYSAGES	CULTURES PERENNES (par campagne)	INDICE C DU COUVERT VEGETAL
RUSHUBI I/II	- Bananeraie suivant conduite paysanne	0,03 à 0,24
PEDO-PAYSAGES	CULTURES PERENNES (par campagne)	INDICE P PROTECTEUR
RUSHUBI I	- Caféière avec paillis épais de 7 cm d'épaisseur - Boisement de <i>Pinus kesiya</i> avec sa litière d'aiguille - Manioc de 1 ^{ère} année sur buttes isohypses sous pineraie fortement éclaircie et rangement des aiguilles en courbe de niveau	0 à 0,002 0 à 0,006 0,02
RUSHUBI I/II	- Bananeraie suivant conduite expérimentale	0,10 à 0,56

Figure 1 : Evaluation des pertes en terre en T/ha/an et de Ruissellement annuel moyen (Ram) sur parcelle Wischmeier d'une bananeraie (300 m²) selon différentes modes de conduite (Station Rushubi I / II)

Estimation du décapage du sol en mm



Campagnes culturales (agressivité climatique annuelle)	Bananeraie suivant conduite paysanne		Bananeraie suivant conduite expérimentale	
	Erosion annuelle en T/ha	Ram en %	Erosion annuelle en T/ha	Ram en %
# !\\$ (460)	&	(\$*	#	#
# !& (521)	€	\$\$	#	#
# !, (536)	"	(-)	'-\$	\$"
# !! (587)	\$\$\$	"	(()-	()\$
# !* (414)	(')	"(()	-)"

Bananeraie suivant conduite paysanne :

- Associée au haricot en 1^{ère} saison et 1 sarclage en 2^{ème} saison (Campagne 84-85)
- Associée au maïs en 1^{ère} saison et colocase + pomme de terre en 2^{ème} saison (Campagne 87-88)
- Pas de culture et 3 sarclages (Campagne 86-87)
- Pas de culture et 3 sarclages (Campagne 85-86)
- Associée au maïs (1^{ère} saison) et sarclage en 2^{ème} saison (Campagne 88-89)

Bananeraie suivant conduite expérimentale :

- Eclaircie, nettoyage et rangement des déchets en bandes isohypses associée au maïs en 1^{ère} saison et à la pomme de terre (Campagne 86-87)
- Nettoyage et rangement des déchets en bandes isohypses. Associée au maïs-haricot tuteuré en 1^{ère} saison et 1 sarclage en 2^{ème} saison (Campagne 87-88)
- Nettoyage et rangement des déchets en bandes isohypses. Associée au maïs-haricot tuteuré en 1^{ère} saison. Pas de culture et 1 sarclage en 2^{ème} saison (Campagne 88-89)

Certains couverts agricoles permanents du Burundi peuvent s'apparenter à ce système dense dans lequel les actions humaines parviennent à minimiser les risques de l'érosion hydrique. Il y a la bananeraie au taux de couverture variable mais avec une tendance à se densifier au même rythme que celui de la population rurale (*planches photos 6b*).

La bananeraie et son couvert (*planches photos 6 a et b*): Dans les régions à forte densité humaine, elle occupe une place prépondérante de l'espace agricole (Mumirwa, Buyenzi et Kirimiro → cf. carte 1 en annexe). Elle correspond à un système cultural complexe où sont associés généralement colocase et arbres agroforestiers pour les plus denses, haricot et céréales pour les bananeraies les plus éclaircies et toutes cultures vivrières pour les bananeraies juvéniles.

Nos essais réalisés dans une bananeraie d'une vingtaine d'années en milieu réel donnent des résultats intéressants en ce qui concerne l'évolution de l'érosion en milieu rural puisque cette culture imprime de plus en plus le paysage agraire burundais. Le sol de la station expérimentale (Rushubi I / II dans le Mumirwa central), située au contact du schiste et de la quartzite, est constitué d'un épais colluvionnement de sable de 35 cm (pH ≈ 4,5 à 5,0 et CEC ≈ 8 méq/100g de terre en surface) recouvrant un horizon B argileux ferrallitique développé sur un substrat schisteux en profondeur.

Au regard des résultats (tableau et figure 1 ci-dessus), il faut bien se dire et accepter qu'une bananeraie peu intensive et moyennement productive ne protège pas efficacement le sol. Les pertes mesurées sur des parcelles de 300 m² montrent que le ruissellement est encore très important (entre 4 et 16 %). Associée ou non à des cultures sarclées, les pertes sur cinq années expérimentales correspondent à 210 T/ha soit une moyenne de plus de 40 T/ha/an. En prenant comme critère l'épaisseur érodée du sol, nous arrivons à 2,5 mm par an. En cinq années, 1,3 cm de sol est retiré ; en un siècle, c'est toute la couche arable (25 cm) qui disparaît. C'est bien au-dessus du seuil acceptable pour ces sites vulnérables et à durée de vie très étroite (faible épaisseur de la couche arable sur très fortes pentes). Théoriquement, aucun seuil ne devrait être toléré dans ces conditions, même en climat peu agressif ($R < 200$). A l'inverse, les sols possédant une « longévité productive » plus ou moins infinie, la limite supportable, sans risquer de trop polluer les torrents et rivières et occasionner des dégâts en aval, serait de 10 à 12 T/ha/an. Dans tous les cas, ces pertes se redistribuent dans le paysage et une partie seulement est captée par le réseau hydrographique (DUCHAUFOR, 1988 et 1993).

En se référant aux travaux du Programme d'Intégration des Petits Ruminants à l'Agriculture (PIPRA / Facagro, NDIMUBANDI, 1992) et aux résultats de l'Atelier Bututsi de l'ISABU (POZY et al, 1988 et 1993), les pourcentages moyens en matière sèche des résidus de bananier sont de 7 % pour les stipes, de 18,5 % pour les feuilles et de 88 % pour les peaux. Pour une bananeraie de production moyenne, cela correspond entre 5 à 10 T/ha/an de biomasse fraîche soit environ 1 à 2 tonnes de matières sèches par an. Ce phénomène de pertes peut donc être compensé par les apports organiques (feuilles, peaux de banane et vieux stipes de bananier) qui sont normalement restitués au sol. Comme cela vient d'être précisé dans le § précédent, cette restitution des résidus organiques de l'exploitation bananière contribue à l'entretien, voire au redressement de la fertilité organique et structurale des sols. En revanche, le problème s'aggrave sérieusement lorsque cette biomasse

excédentaire est exportée en grande partie ou en totalité sur la caféière ou, dans une moindre mesure, lorsqu'elle est destinée à l'alimentation non conventionnelle pour le bétail.

Nous verrons plus loin que, pour plusieurs raisons, la bananeraie est une culture affectionnée par les agriculteurs burundais qui la conduisent de manière intensive autour du rugo en restituant une grande partie des résidus. De plus, elle reçoit la majeure partie ou souvent la totalité du compost et/ou du fumier disponible (RISHIRUMUHIRWA, 1996 et 1997). En condition intensive, (plus de 8 000 pieds par hectare), son couvert est plus important donc plus protecteur. Dans ces conditions, nous sommes loin des mauvais résultats évoqués ci-dessus mais plutôt de ceux du modèle de conduite expérimentale (figure 1). Le modèle en question se rapproche de celui qui est vulgarisé par un grand nombre de projet à savoir éclaircir la bananeraie pour y cultiver du vivrier en association, disposer tous les déchets existants en bandes isohypses en prenant le soin d'interchanger à chaque saison leur emplacement et de pratiquer le labour en courbe de niveau. Les ruissellements sont ainsi fortement atténués (de 0,5 à 5 %) de même que les pertes en terre. Nous enregistrons sur trois années 36 T/ha soit une moyenne de 12 T/ha/an. De toute évidence, la performance de ces résultats est due au rangement du paillis en bandes (facteur P moyen de 0,17) et non pas le fait d'avoir pratiqué le labour différemment, (le labour en courbe de niveau étant deux fois moins efficace que le billonnage, ROOSE, 1994) ou de cultiver plus intensivement du vivrier sous une bananeraie éclaircie. Nous devons au contraire nous poser la question si l'éclaircie n'aurait pas été plus néfaste dans le cas d'une exportation des résidus sur la caféière ou dans les fossés poubelles. Les Sociétés régionales de Développement (SRD), notamment celle du Kirimiro, préconisaient en effet à l'époque une forte éclaircie des anciennes bananeraies et 4 à 5 rejets par pied (*planche photos 4 a et b*). Les jeunes plantations sont disposées dans des fossés isohypses (quelque fois simplement des trous : *planches photos 4a à 4c*) équidistants de 5 à 10 m dans lesquels les vulgarisateurs demandent d'y accumuler tous les déchets organiques. On assiste ainsi à un véritable nettoyage du sol dans le souci du beau et de l'esthétisme. Il est certain, en regard de tous les résultats précédents, que plus on pratique le nettoyage des parcelles et plus on diminue la couverture végétale, plus on augmente les risques d'érosion. En fin de compte, une bananeraie dense peu cultivée mais sarclée régulièrement, disposant de tout son stock organique excédentaire pour maintenir la fertilité du sol, est très certainement le sous-système cultural le plus protégé de tous avec celui du café (DUCHAUFOR, 1993 et 2009). Le cas est analogue pour la bananeraie éclaircie à condition d'une gestion soignée des résidus comme l'attestent les résultats des importants travaux de RISHIRUMUHIRWA (1993, 1997) dans la région du Kirimiro (carte 1 en annexe), comparables à ceux de l'ISABU.

Les études de RISHIRUMUHIRWA ont porté sur des bananeraies denses immédiatement autour des habitations et des bananeraies espacées associées à d'autres cultures vivrières (haricot, maïs). Malgré les conditions pédologiques contraignantes (sols ferrallitiques argileux acides et désaturés), les résultats ont montré que le bananier est le principal producteur de biomasse dans l'exploitation, suivi des pâturages et boisements familiaux ainsi que des céréales. A l'identique des résultats de l'ISABU, l'utilisation de cette biomasse comme paillis permet de maîtriser le ruissellement et de contrôler l'érosion selon différents modes de paillage (RISHIRUMUHIRWA et al, 1997). La comparaison montre la supériorité des dispositifs en bandes (*planche photos 3b*) par rapport au paillage en couronne,

généralement appliqué dans les plantations de bananiers. La biomasse produite dans et hors exploitation converge vers l'habitation où elle est transformée en fumier-compost et en cendre pour être ensuite redistribuée sur les cultures. Cette convergence génère des flux dont bénéficient prioritairement le bananier, le haricot et le maïs ; ces associations culturales et rotations permettent à une fumure unique de profiter à plusieurs cultures en même temps. La fumure organique, résultant du recyclage de la biomasse, s'est révélée indispensable à une gestion durable des sols après défrichement et à leur restauration après érosion. La conservation des sols n'augmentant pas, à elle seule, la productivité des terres, l'auteur a donc tenté d'améliorer le potentiel de ces sols par des apports de fumier, de dolomie et d'engrais minéraux complexes. Ses résultats sur parcelles agronomiques, ont montré qu'un apport de 10-20-30 t/ha/an de fumier (soit 3-6-9 t de M.S.) augmente significativement les rendements des trois cultures et améliore quelque peu les propriétés physicochimiques des sols ferrallitiques en réduisant les carences en N-P-K et la toxicité aluminique. En revanche, plus étonnant car contradictoire aux résultats du programme fertilité de l'ISABU (OPDECAMP, 1988, OPDECAMP et al 1998, GOURDIN et al, 1991), le chaulage ne s'est pas avéré justifié techniquement, ni rentable économiquement dans les conditions de l'agriculture burundaise (RISHIRUMUHURWA et al, 1997).

Là encore, le bananier apparaît comme un bon indicateur de la sédentarisation des populations et un bon agent de l'intensification des productions agricoles rendue nécessaire par une pression démographique de plus en plus forte.

La caféieraie (*planche photos 6a*) : Culture de rente de prédilection pour la moitié des familles burundaises, elle est cultivée sur une surface moyenne de 5 à 6 ares par exploitation. Le paillage épais de 7 à 10 cm d'épaisseur est, comme nous l'avons vu, obligatoire depuis l'introduction de la culture dans les années 20. Depuis, aucune modification de son itinéraire technique n'a été apportée.

Le paillage épais constitue un écran protecteur total contre l'érosion. L'essai sur pente expérimentale de 50 % durant six années consécutives n'a souffert d'aucune perte, même en année très pluvieuse ($R_{am1983-1984} = 591$). Les taux de ruissellement annuels sont les plus bas de tous ($< 0,3\%$). Son effet tampon à l'égard des précipitations est comparable à l'efficacité d'une forêt dense : il intercepte les eaux de précipitation, retarde leur arrivée à la surface du sol, régularise dans le temps et l'espace l'infiltration, diminue l'évaporation-transpiration du sol et l'alimente en se décomposant.

Le principal problème est de s'approvisionner suffisamment en biomasse pour garnir la surface du sol d'une couche de quelques centimètres. Les surfaces et les biomasses immobilisées pour pailler le café sont à la fois démesurées dans le cadre de la problématique actuelle des systèmes agraires burundais et génératrices de dysfonctionnements internes à l'exploitation (V. METZLER, 1993, COCHET, 1993 - 2001) : transfert et concentration disproportionnée de la fertilité sur une seule parcelle, surcroît de travail pour transporter le paillis sur le champ, surcoût de la main d'œuvre salariée, augmentation du coût de revient du café. A titre d'exemple, sur la colline de Sagara dans le Mumirwa central, une estimation a été réalisée par l'ISABU avec hyparrhénia (*planche photos 6a*). Pour un paillage épais de 10 cm, les 4 500 kg récoltés sur une surface de 1 300 m² (jachère permanente coupée une seule fois dans l'année) a permis de pailler une surface caféière de 2 340 m² soit 624 pieds de

café. Il a fallu immobiliser l'équivalent d'une surface de 3,75 m² de jachère d'hyparrhénia par pied de café (RUPIYA, 1993, DUCHAUFOR, 1993). Même si elles n'atteignent pas encore la perfection recherchée, les alternatives sont connues mais n'ont jamais été promulguées en milieu rural. Il serait urgent de lancer une nouvelle approche de la culture caféière par le biais d'actions de recherche-développement qui proposeraient des alternatives au paillage à l'exemple de l'introduction de végétaux fixateurs associés aux caféiers (SNOECK, 1996). Cela permettrait de concevoir une nouvelle stratégie de la politique caféière au niveau national sans craindre des répercussions désastreuses sur l'économie du pays.

Boisement de pin (*planche photos 6a*) : La dernière couverture végétale étudiée concerne un boisement de Pin. Il s'agissait de suivre un petit programme de recherche avec la collaboration des forestiers du département des Forêts, soucieux de démontrer de manière quantitative le bien-fondé des projets de reboisement (*reboisements de Pins et de Callitris visibles sur les planches 6 a et b*) institués dans les années 70 par la Banque Mondiale et le Fonds Européen de Développement (FED)³. L'étude de l'érosion sous pineraie, avec son épaisse litière d'aiguille morte obtenue dès la deuxième année de plantation, joue un rôle identique à celui du paillage épais de la caféière : pas d'érosion et très peu de ruissellement malgré la forte pente. Pour observer des valeurs assez proches sous un autre couvert forestier, les espèces choisies doivent avoir une densité de plantation normale (au moins 1 100 plants à l'hectare), correspondre à leur milieu pédo-climatique et fournir une litière uniforme au moins sur 1 à 2 cm d'épaisseur.

Dans le cadre d'une expérience sur l'association forêt-culture, que nous pourrions également appeler « d'agro-forêt », cette même pineraie fortement éclaircie (280 arbres à l'hectare) cultivée sous son étage de manioc s'est montrée toute aussi protectrice à condition d'amasser les aiguilles en andains. Les pertes et les taux de ruissellement mesurés sont négligeables.

1.3. Performance économique de la bananeraie

Les principaux résultats des études réalisées par l'INA P-G au début des années quatre-vingt-dix montrent que la bananeraie est parmi les mieux placés des systèmes de culture et dépasse même en valeur ajoutée/actif la caféière, culture de rente de prédilection (COCHET, 1993 - 2001) :

Tableau 3 : Valeur ajoutée/actif (en Fbu 93) de la bananeraie dans différentes régions du Burundi (in COCHET, 1993)

REGIONS	BANANERAIE		CAFEIERE	
	VA/are	VA/jour de travail	VA/are	VA/jour de travail
<i>BUTUTSI (Bururi)</i>	1 200 - 2 500		350	
<i>KUMOSO (Kinyinya)</i>	1 800 - 2 000		-	
<i>MUMIRWA (Kanyosha)</i>	2 700	1 600	1 600	300
<i>KIRIMIRO (Gitega)</i>	2 500	350	1 800	280
<i>BUGESERA (Kirundo)</i>	730 - 7 300	810	600 - 2 000	40
<i>BUYENZI (Mwumba - Ngozi)</i>	1 500 - 3 000	> 200	650 - 2 000	100 - 180
<i>MUGAMBA NORD (Bukeye)</i>	750 - 2 400	200 - 530	750 - 1 750	50 - 90
<i>BWERU (Muyinga)</i>	800 - 4 600	500 - 1 300	500 - 3 000	50 - 400

³ Les preuves d'une argumentation bienfaitrice pour la protection de l'environnement étaient une façon de gommer ou de faire oublier les critiques portant sur le coût prohibitif de ces vastes programmes réalisés en régie par rapport à leur faible valeur ajoutée.

Ces résultats confirment l'intérêt que l'agriculteur burundais porte à sa bananeraie. La valeur ajoutée/actif/are domine dans toutes les régions du pays, même dans le Buyenzi, région caféicole par excellence. Ajoutons à cela que la valorisation d'une journée de travail est bien plus rentable avec la bananeraie en particulier dans les régions densément peuplées. PAULTRE (1992), lors de ses enquêtes dans le Mumirwa, estime pour sa part que la bananeraie ne demande que 1,7 jours/are/an alors que la caféieraie exige 5,2 et le manioc 6,2 jours/are/an. Les données du programme Erosion de l'ISABU corroborent les siennes : en comptabilisant le labour destiné aux cultures associées (en général colocase et/ou haricot), le suivi d'un hectare de bananeraie demanderait entre 120 à 150 jours de travail + une vingtaine de jour de travail pour l'entretien courant.

On peut comprendre désormais pourquoi la bananeraie monopolise tant l'intérêt des burundi. Ils en tirent de nombreux avantages aussi bien sur le plan monétaire que sur le plan de l'accumulation du capital fertilité sans oublier celui des relations puisque le vin de banane est le complément indispensable des fêtes et cérémonies. En outre, la part du café dans la valeur ajoutée totale des exploitations agricoles et le revenu des agriculteurs sont généralement orientés à la baisse contrairement au cas de la bananeraie (COCHET, 1993 et 2001).

1.4. L'extension de la bananeraie et alcoolisme

Après avoir démontré les bienfaits de la bananeraie, beaucoup objectent son extension qui se fait au bénéfice de la plante à « vignoble » et non de la plante vivrière. Aucun travail récent n'a vraiment approfondi ce sujet. La bière de banane (*l'urgwagwa*) est fabriquée à l'aide du jus de banane, additionné de malt de sorgho et de cendres. C'est en réalité une « bouillie » alcoolisée qui contient de l'amidon, des sucres, des protéines, des sels minéraux et des vitamines. Les seuls résultats disponibles, datant de la période coloniale (HENDRICKX et HENDERICKX, 1948 ; ADRIANES et LOZET, 1951) indiquent une teneur en alcool qui ne dépassent jamais 10 % en volume (voire même 5%).

En nous gardant bien de ne faire aucune propagande pour l'alcoolisme, il faut soulever l'apport nutritionnel indiscutable de *l'urgwagwa* (tableaux 4a et b). D'après TONDEUR (1947), le tonnage de bananes susceptibles d'être produit dans le pays en généralisant son extension équivaldrait à 40 fois le tonnage total des vivres cultivées à l'époque. Il ajoute que les agriculteurs pourraient même avoir de gros surplus en les exportant sous forme de régime ou de farine ce qui est aujourd'hui tout à fait le cas des grandes régions bananières (Buyenzi, Kirimiro et Mumirwa).

Tableau 4a : Analyses effectuées par DELVAUX au laboratoire de chimie de Malungu:

	1er Jour	2ème Jour	3ème Jour	4ème Jour	6ème Jour
<i>Alcool en poids</i>	1,022	1,019	1,007	1,007	1,006
<i>Alcool en volume</i>	1,94	2,94	4,0	4,31	3,41
<i>Sucres réducteurs en maltose</i>	2,34	3,69	5,0	5,39	4,27
<i>Sucres après inversion (exprimés en intervertis)</i>	5	1,66-1,73	1,33-1,37	0,57-0,58	0,08
<i>Sucres totaux</i>		2,33-2,31	1,72-1,78	1,71-0,73	0,015

Acidité totale après six jours: 10,5 cc. NaOH N/100 cc.

Acidité volatile après six jours: 2,46 cc. NaOH N/100 cc.

Acidité exprimée en acide acétique: 0,15 %.

Tableau 4b : Analyses exécutées au laboratoire de l'Institut pour la Recherche Scientifique en Afrique Centrale à Astrida (Butare) du Ruanda. Les résultats sont les moyennes de différents échantillons de bières de famille type. Les recherches sur les alcools ont été effectuées avec l'appui de l'IRSAC à la station d'Essais du Centre d'Etudes et de Recherches des Industries Alimentaires à Bruxelles (in ADRIANES et LOZET, 1951)

Matière première	BANANE pour 100 gr.		Bière de BANANE (<i>urgwagwa</i>) pour 1 litre	
	<i>non mûres</i>	<i>mûres</i>	<i>non mûres</i>	<i>mûres</i>
<i>Perte à l'épluchage</i>	40,55	34,36		
<i>Séchage de la partie utilisée</i>	43,54	50,94		
<i>Matières minérales totales</i>	0,56	0,58	8,22	9,87
<i>Matières azotées totales</i>	0,60	0,60	4,91	3,15
<i>Matières grasses</i>	0,07	0,03		
<i>Matières cellulosiques</i>	0,23	0,25		
<i>Sucres réducteurs (en glucose)</i>	néant	6,62	2,55	19,16
<i>Saccharose</i>	0,55	1,90	4,04	2,95
<i>Hydrates de carbone (différence)</i>	13,90	4,86		
<i>Extrait sec</i>			36,40	52,63
<i>Alcool à 15° G.L.</i>			9°46	9°46
			(Bière de sorgho = 6°4)	
<i>Alcools supérieurs</i>			747 mg/l	722 mg/l
<i>Acidité totale en acide sulfurique</i>			4,36	4,21

N.B. : La présence d'alcool méthylique et d'alcool supérieurs a été recherchée sur les distillats des boissons fermentées. Aucun échantillon obtenu ne contenait d'alcool méthylique. La teneur en alcools supérieurs des boissons fermentées est sensiblement comparable à la moyenne des vins italiens de l'époque.

2. Agriculture – élevage – agroforesterie et gestion de la biomasse

Au début du XX^{ème} siècle, la bananeraie n'occupait pas une place aussi importante dans les exploitations agricoles. Les systèmes de culture étaient plutôt caractérisés par les céréales et les légumineuses, cultures associées à l'élevage bovin. A l'époque, les non-proprétaires de bétail pouvaient obtenir par l'*ubugabire*⁴ une ou deux bêtes en échange de services rendus. C'est ainsi que les petits cultivateurs parvenaient à maintenir la fertilité en ramassant soigneusement la bouse pour la répandre sur les terres autour du rugo.

Les grands éleveurs, quant à eux, cultivaient de grandes surfaces également en proportion à leur ressource fumièrè. Ils occupent aujourd'hui encore une place importante dans les systèmes de production du Mugamba-Sud et du Bututsi où les vastes pâturages dominent toujours ces régions. Si autrefois, ces grands propriétaires terriens disposaient d'une main d'œuvre en suffisance avec les redevances de l'*ubugabire*, elle est devenue aujourd'hui la contrainte limitante pour la plupart d'entre eux. Les transferts latéraux de fertilité se cantonnent aux surfaces assolées ceinturant le rugo et le maintien des grands troupeaux commence à devenir une lourde charge : gardiennage, régression des surfaces pâturables communautaires et disparition des pâtures d'été, servitudes de passage engendrant des conflits, concurrence des élevages rationnels, etc..

EL-OBEID (et al, 1991) et RASSE (et al 1991) les ont divisés en deux groupes distincts:

- Un premier à valeur ajoutée par are relativement faible (300 à 500 Fbu/are SAU=2 à 5 ha) qui traduit le caractère extensif du système de production. Ce

⁴ Contrat pastoral de la période de l'avant indépendance, ou « bail à bétail » appelé « *ubugabire* » en Urundi ou « *ubuhake* » au Ruanda (MARCHI, 1939 et ADAMANTIDIS, 1956 in DUCHAUFOR, 1995).

sont des exploitations qui parviennent à dégager un revenu capable d'assurer la reproduction de l'unité de production avec 120 à 130 ares/actif.

- Un deuxième, plus nanti (SAU >10 ha), ayant une valeur ajoutée plus élevée (VA/actif >100 000 Fbu) et une disponibilité importante en fumier (500 à 600 kg/are cultivé). La VA/are de 200 à 300 Fbu est en revanche très faible.

Partout ailleurs, la valorisation d'une journée de travail sera déterminée par la concentration de fertilité dont bénéficient les parcelles. Nous avons vu que la bananeraie est un des moyens de cumuler de la fertilité et augmenter la production par journée de travail (tableau 3). Lorsque le potentiel de fertilité naturelle est insuffisant, les niveaux de productivité seront conditionnés par les apports organo-minéraux ou par la mise en repos de la terre durant un certain nombre d'années. Dans l'un ou l'autre cas, il faut disposer soit d'une quantité suffisante de fumier pour emblaver pendant les deux saisons culturales et accroître les rendements, soit d'une surface agricole suffisamment importante pour se permettre d'immobiliser des grandes surfaces durant plus de cinq années consécutives (longues jachères de jadis).

Les résidus de récoltes et les déchets de labour sont généralement mieux valorisés sur place (mulch protecteur + biodégradation des matières organiques in situ → *planches photos 3b et 4a à 4c*) que par le passage de la compostière (planche photos 3a). L'étalement in situ de ces biomasses non transformées par compostage favorise la volatilisation de l'azote. Mais la protection du sol de l'érosion hydrique et de l'insolation compense sans aucun doute ces pertes azotées. Le mulch est ainsi une voie simple pour restituer la totalité de la biomasse et les nutriments qui le constituent (K, Ca, Mg et C par lessivage puis N et P par minéralisation et humification à travers la méso et microfaune). Il peut même ainsi contribuer à un léger gain en fertilisants par rapport à l'enfouissement de matériaux préalablement compostés.

A l'inverse, un compost mal décomposé enfoui dans le sol « excite » l'activité microbienne pendant quelques mois et accélère la minéralisation des réserves organiques du sol et l'appauvrit en azote (les pailles enfouies directement dans le sol entraînent une faim d'azote importante). C'est également le cas lorsque les conditions de compostage sont mal appliquées ; les pertes azotées volatiles sont importantes tout comme la potasse qui s'évacue pour 50% dans le fond de la compostière au lieu d'être restituée au sol (ROOSE, 1994). Les pertes en azote sous forme d'ammoniac sont en effet en étroite relation avec le mode de conditionnement et bien souvent les conséquences d'un mauvais stockage entraînent une transformation aérobie à froid de plus de 50 % de l'azote hydrolysable total (ATALLAH, 1993).

A défaut d'études sur le devenir de l'azote en provenance de divers composts et de travaux sur l'amélioration de sa gestion, on peut considérer que le fumier (ou les simples déjections animales) est le principal effluent organique restitué au sol et que sa production est plus privilégiée par les agriculteurs que le lait ou la viande (*planche photos 3a*). Si un exploitant en dispose d'une quantité suffisante, cela lui permet (COCHET, 1993) de faire une plus-value de 450 Fbu par panier (15 kg) soit un supplément de production deux fois plus élevé que le montant de la valeur ajoutée directement issue de l'élevage (NEUVILLE, 1992). A titre d'exemple, le programme Erosion de l'ISABU a mené des études de suivi de la fertilité d'une

parcelle de 10 ares développée sur un sol ferrallitique acide (pH = 4,6) chez un exploitant élevant un porc en stabulation permanente. Les résultats ont montré que l'application régulière de la totalité du lisier récupéré équivalent à 2,2 t/ha par saison culturale, contribue au maintien de la saturation de la CEC en surface (86%) par un équilibre très satisfaisant en calcium, magnésium et potasse (DACHARY, 1992, RURIHAFI, 1993). Tous ces facteurs réunis jouent sur la neutralisation de l'aluminium dans l'horizon de surface (Indice de Kamprath Ik = 9%). Au delà des trente centimètres de profondeur, les caractères alliques apparaissent (Ik = 71%). Ces résultats démontrent l'intérêt de tous les ménages ruraux de disposer d'un élevage-fumier. Ils sont prêts à allonger la durée de stabulation et à introduire des arbustes fourragers associés à des graminées et légumineuses à condition de leur donner les capacités d'accumuler le capital (crédit-paysan) et les moyens de conduire un élevage amélioré (alimentation complémentaire, soins vétérinaires) et d'organiser localement la collecte du lait (SIMONART, 1992, *planches photos 2a à 2c*)⁵. Ce type d'élevage amélioré, avec du petit ou du gros bétail, est paradoxalement très recherché (et souhaité) par les cultivateurs des régions les plus peuplées où l'emprise sur la terre est la plus forte (Kirimiro, Buyenzi, Mugamba Nord → cf. carte 1 en annexe). Dans ces régions, l'animal remplace la compostière en recyclant la biomasse produite sur l'exploitation et les ressources fourragères des espaces interstitiels (sentiers, bordures de parcelle ou talus → *planches photos 1a à 1c et 5*). Les aliments dits non conventionnels (tourteau de palmiste, son de céréales, drèches de brasserie → *planche photos 2c*) prennent alors une importance considérable dans l'apport nutritionnel de l'animal mais sont bien trop souvent déconsidérés ou ignorés lors des calculs des ratios alimentaires (POZY, 1993; SIMONART, 1992, SIMONART et al, 1994). Ces espaces sont convoités par les petits éleveurs-agriculteurs qui perçoivent cette biomasse extérieure comme un complément fourrager qui supplée aux insuffisances de l'exploitation. Il est certain que si une alternative au paillage des caféiers était diffusée, l'élevage se généraliserait à toutes les exploitations agricoles. Ces projets à élevage « rationnel » ne sont toutefois pas indéfiniment reproductibles car ils nécessitent un encadrement complexe et l'instauration de petites unités de transformations ou de groupement qui assurent le traitement du lait et la fabrication artisanale de produits laitiers. Ce système d'organisation à l'échelon national est inexistant⁶. Il est intéressant de rappeler que le déficit national en produit laitier dépasse le milliard de Fbu en 1995 et que leur importation (République Démocratique du Congo, Tanzanie pour le marché parallèle; Kenya, Zimbabwe et Europe pour le marché officiel) coûte de plus en plus cher à l'Etat.

L'arbre agro-forestier ou agro-arboricole est aussi une autre source d'accumulation de capital fertilité. Tous ces arbres associés au système des cultures vivrières complètent la panoplie des plantes productives dont les usages artisanaux, alimentaires et rituels sont multiples. Les arbres ou arbustes fruitiers (avocatiers, agrumes, papayers, goyaviers, manguiers, palmiers à huile, fruits de la passion, ...) et les essences forestières et fourragères (grevillea, eucalyptus, maesopsis, cedrella) accompagnés d'espèces indigènes⁷ (ficus, érythrine, markhamia, albizia, polycias,

⁵ La production laitière prend alors toute son importance et profite aux enfants et personnes âgées. Le litre de lait se vend facilement entre famille au prix de 150 Fbu mais en cas de grande quantité, son écoulement sur le marché est plus difficile et conditionné par l'existence de petites unités de transformation locale (microlaiterie, fromagerie,...).

⁶ Contrairement en Haïti, où le réseau Lèt Agogo avec ses quinze micro-laiteries couvrent une partie du territoire national (2009).

⁷ Toutes ces espèces, d'introduction ancienne au Burundi, sont aujourd'hui bien naturalisées.

cassia, acacia, euphorbe, draceana, etc...) permettent une diversification de la production sans trop affecter les plantes de basses strates. L'agriculteur connaît les arrangements qui réduisent les compétitions culturales, anticipe le comportement de son sol en effectuant les amendements suffisants lorsqu'il associe une espèce forestière avec une culture.

Les associations arbre-culture sont pratiquées déjà depuis des temps séculaires autour des ruzizi en recevant tous les déchets ménagers. Au fil des générations, elles sont devenues de véritables agro-forêts de case (ou jardins multi-étagés → *planche photos 6b*) à haute valeur ajoutée. Dans son étude sur la gestion de l'arbre dans l'exploitation du Buyenzi, BERTHELOT (1993) précise qu'un avocatier en production rapporte 2 500 Fbu annuellement, un grevillea sur pied 300 Fbu, le même débité en madriers 1 450 Fbu ou 1 800 Fbu en planches. Leur multiplication dans les parcelles vivrières et caféières, après cernage des racines (NDIKUMWAMI et al, 1991, *planche photos 7*), permet de produire de la biomasse par transfert vertical des éléments minéraux prélevés dans les couches profondes au profit de la surface du sol, de produire du bois à usage domestique (bois d'œuvre, de construction et de chauffe) apportant une valeur ajoutée appréciable, d'enrichir l'alimentation familiale en lipide et en protéine (avocat, huile de palme, arbres fruitiers en général), de diversifier les ressources fourragères et d'ombrager les caféières avec les espèces les moins concurrentielles (grevillea, maesopsis, albizia, acacia, leucaena et calliandra).

Les pratiques agroforestières paysannes que ce soit au niveau des choix des espèces, de leur distribution dans le paysage parcellaire ainsi que de leurs modes de gestion peuvent éviter les pièges d'une distribution bien ordonnée des cultures en couloir tant préconisées par la recherche même sur terrains dégradés (*planches photos 1a à 1c*).

Les résultats de RISHIRURMIRWA et al (1997) ont ainsi conduit à proposer des méthodes optimisées de production et de gestion des exploitations traditionnelles basées sur la diversification des sources de résidus et l'intensification de la production agricole. Ce qui suppose notamment l'introduction de l'agroforesterie dans les systèmes culturels, l'intégration du petit élevage dans le système d'exploitation notamment pour le recours à la fumure organique et, si possible, l'apport d'engrais minéraux. C'est, pour le rappeler, le concept de la GCES introduit au Rwanda en 1988 par ROOSE et al (1988).

Conclusion

De tous les facteurs contribuant à la conservation des sols et maîtrisables par les paysans, il en est trois qui se distinguent sans ambiguïté : la gestion de la matière organique (compost, fumier et donc fourrages et litière), le mode de conduite des ruminants en stabulation et les aménagements biologiques (haie en courbe de niveau d'arbustes légumineux et/ou herbacées, végétalisation des bordures de parcelle et des chemins).

On peut opposer d'un côté un système traditionnel, lent et moins productif (pâturages extensifs, stabulation libre, jachères) qui a permis aux générations précédentes de subsister selon un système extensif mais qui n'est plus adapté aux nouvelles contraintes de l'environnement et aux pressions exercées sur les terres.

S'en suit alors d'un autre côté, l'adoption d'un système non traditionnel plus rapide et plus productif (stabulation permanente ou semi permanente du bétail, production et gestion efficace de la biomasse végétale, investissement en main d'œuvre et monétarisation) qui valorisent les potentialités des exploitations, utilisent plus efficacement l'espace disponible et portent mieux les sols contre l'érosion grâce à l'effet synergique entre production et conservation, condition sine qua non de la perpétuation du système.

En revanche, les conditions de réussite et d'intégration de tels aménagements dépendent fortement de leur adéquation avec le milieu et les situations individuelles. Au lieu de systématiser toutes actions à l'échelle nationale, régionale, et même au niveau du bassin versant ou du pan de versant, il est recommandé de s'adapter à chaque situation ou à chaque type d'exploitation ce qui permet le plus souvent de proposer des alternatives qui seront plus vite acceptées et éviteront bien des déboires ou dépenses inutiles.

Bibliographie

- ADRIANES E.L., et LOZET F. 1951.** Contribution à l'étude des boissons fermentées indigènes au Ruanda. *In Bulletin Agricole du Congo belge* Vol XLII N°4. p 933 -950.
- AKYAMPONG E., 1991.** AFRENA Burundi Project Progress Report for the period march 1990 – September 1991. N°47. 31 pages
- ATALLAH T. 1993.** Conditions de valorisation du fumier et risques de lixiviation de l'azote. *Agricultures. Volume 2. N°1:26 -35.*
- BENDJEFFAL B., DIALLO A., DUCHAUFOR H., LORMANN C., NGOUAKA F. 1993 :** Contribution au diagnostic des systèmes de production de la Province de MUYINGA (BURUNDI). Analyse de la problématique de la fertilité des terres. 95 pages + annexes. ICRA et ISABU Édit.
- BERTHELOT E. 1993.** Gestion de l'arbre dans les exploitations agricoles du Buyenzi. Burundi. CNEARC. 64 pages + annexes.
- BIMENYUMUREMYI L. 1993.** Etablissement de la carte pédologique au 1/10.000ème des secteurs de référence de Manga-Kibuye et de Bigoma dans le bassin versant de la Ntawangwa. *FACAGRO et ISABU, Bujumbura-Burundi.*
- BRANDELARD P., 1991.** Réseau burundais de recherche-développement en alimentation animale. *Bull. de liaison N°1*, 12 pages.
- BRANDELARD P., 1992.** *Effects of cuttings levels and cuttings frequencies on the annual yield of Leucaena and Calliandra hedges.* 3 pages ISABU Bujumbura
- CHANTRAINE V. 1991.** Identification du fonctionnement agronomique du bassin versant de Nyarumpongo ; Bassin Versant de la Ntawangwa. *ISABU & Paris VI.*
- COCHET H. 1993.** Etude sur la dynamique des systèmes agraires au Burundi. *Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, ADEPRINA, Juin 1993.* 200 p.
- COCHET H. 1996.** Gestion paysanne de la biomasse et développement durable au Burundi. *Cahiers des Sciences Humaines*, vol 32, n°1, ORSTOM, 1996, pp. 133 -151.
- COCHET H. 2001.** Crise et révolutions agricoles au Burundi. INAPG - Karthala, 468 p.
- COCHET H. 2004.** Agrarian dynamics, population growth and resource management : the case of Burundi. *Geojournal. An international journal on human geography and Environment sciences N°60 : 111-122.* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

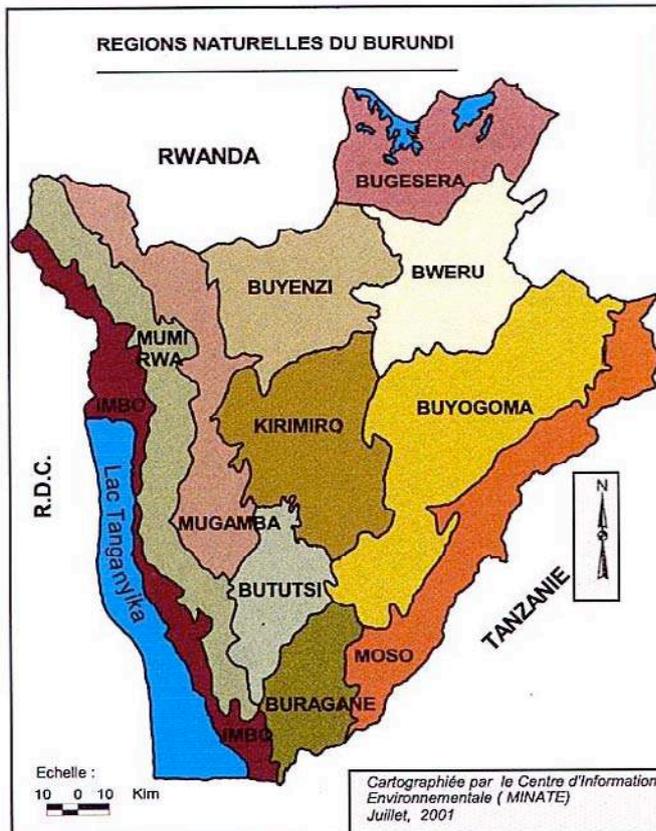
- DACHARY C. 1992.** Termes vernaculaires utilisés par les paysans pour caractériser les sols et essai de corrélation avec la classification ISABU. Bassin versant de la Muha et de la Ntahangwa - BURUNDI. *Université de Paris VII. DESS Espace et Milieux ; Département Environnement.*
- DUCHAUFOR H. 1993.** Stratégie de développement régional. Une approche spatiale de l'environnement rural des Bassins versants de la Ntahangwa et de Muha. *Montpellier, CIRAD-SAR n°52/93, 70 p.*
- DUCHAUFOR H. 1995.** Le malaise social du Burundi rural : réalités historiques et actuelles de l'érosion. Programme de Recherche pour la Protection de l'Environnement, *Institut des Sciences Agronomiques du Burundi*, 184 p. + annexes
- DUCHAUFOR H., PARTY J.P. 1988.** Etude de la conservation des eaux et des sols dans le Mumirwa. Cas de deux bassins versants. Commune d'Isale, *Mission d'Appui Technique à l'ISABU*, 42 p. + annexes + planches couleurs.
- DUCHAUFOR H., GUIZOL P., BIZIMANA M., PELTIER R., POUILLOUX C. (1996) :** Avantages et inconvénients de la haie mixte *Calliandra / Setaria* comme dispositif anti-érosif en milieu rural burundais. 19 pages. *Bull. du Réseau Érosion, ORSTOM, n°16, 20 p.*
- DUCHAUFOR H., MIKOKORO C. 2009.** Tentatives d'une estimation de l'érosion sélective en nutriments et de l'évaluation des coûts des pertes de quelques sols représentatifs au Burundi. (Non publié)
- DUCHAUFOR H., MIKOKORO C. 2009.** Erodibilité des sols de différentes unités paysagères représentatives du Burundi. (Non publié)
- GOURDIN J., HOLLEBOSCH P., KIBIRITI C., NDAYIRAGIJE S. 1991.** Répertoire analytique au Burundi. 95 pages.
- HENDRICKX F.L., et HENDRICKX J. 1948.** La jachère à bananiers. Conférence Africaine des Sols, Goma (Congo Belge), 8-16 novembre. p. 1701-1712.
- ICRA. 1993.** Diagnostic des systèmes de production agricole de la province de Muyinga. Analyse de la fertilité des terres. 80 pages + annexes.
- ISABU - ICRAF. 1988.** Potentiels agroforestiers des systèmes d'utilisation des sols des hautes terres d'Afrique de l'Est à régime pluvial bimodal. *Burundi. Rapport AFRENA n°2 , 157 p.*
- ISABU, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992.** Institut des Sciences Agronomiques du Burundi. Rapports annuels, Programmes Agroforesterie, Sylviculture et Erosion. Bujumbura.
- ISABU.** Rapport annuel 1992-1993. Atelier régional de recherche du Buyenzi. 97 pages.
- LECUYER J. 1992.** Contribution à la cartographie agropédologique au 1/10.000ème de trois secteurs de référence dans le bassin versant de la Ntahangwa au Burundi. *Université Libre de Bruxelles (Belgique) et ISABU, Bujumbura.*
- METZLER (V.), 1993.** Gestion de la biomasse et transferts de fertilité dans les exploitations agricoles du Buyenzi-Burundi. Mémoire de fin d'études, ENSAIA Nancy / CNEARC.
- NDIMIRA P.F. 1991.** Dynamique et problématique d'amélioration des systèmes d'exploitation agricole au Burundi. Cas de la région de Remera, *Université Catholique de Louvain, Faculté des Sciences Agronomiques, Louvain-La-Neuve.*
- NDIKUMWAMI H., DUCHAUFOR H., BELLEFONTAINE R. 1991.** Observation sur l'enracinement du *Grevillea robusta* au Burundi. *Flamboyant n°20, p. 19 -20.*
- NDIMUBANDI A. 1992.** Synthèse des recherches sur l'alimentation des petits ruminants de la zone d'intégration du PIPRA. Université du Burundi. Faculté des Sciences Agronomiques. 50 pages + annexes.
- NEVILLE A. 1992.** Diagnostic du système agraire du Buyenzi (Burundi). *Mémoire de D.A.A. Chaire d'Agriculture Comparée, INAPG.*

- NIJENAHAGERA J. 1992.** Contribution à la cartographie agropédologique au 1/10.000ème de deux secteurs de référence dans le bassin versant de la Ntangwa. FACAGRO et ISABU, Bujumbura.
- OPDECAMP L. 1988.** Mécanismes de pédogenèse acide dans les régions agro-pastorales d'altitude du Burundi. *Publication ISABU N° 127*. 13 pages.
- OPDECAMP L., MUSONI I., et GOURDIN J. 1988.** Effets stimulants et toxiques de l'aluminium sur la croissance des plantes cultivées dans les sols humifères acides du Burundi. Publication ISABU N° 129. 26 pages.
- PAULTRE V. 1992.** La sous-région agricole du Mumirwa central : Diagnostic et alternatives de développement. *Mémoire pour l'obtention du diplôme de Mastère en Politique, Programmes et Projets de Développement Agricole et Rural. Chaire d'Agriculture Comparée, INAPG., Paris.*
- POZY P. 1993.** L'alimentation des bovins dans le Bututsi. Atelier Bututsi de l'ISABU. Bulletin de liaison N°1 du réseau Burundais de Recherche-Développement en alimentation animale. Fiche technique N°17, *Institut des Sciences Agronomique du Burundi*, 56 p.
- POZY P. et LAYS JF. 1988.** L'embouche bovine en milieu rural. Une méthode pour mieux valoriser son bétail. Unité de pré vulgarisation. Division de Zootechnie. Fiche technique N°5, *Institut des Sciences Agronomique du Burundi*, 21 p.
- RASSE E. SEXTON D. 1991.** Diagnostic du système agraire du Bututsi (Burundi), *Mémoire ISARA/INAPG.*
- RISHIRUMUHRWA, T., 1993.** Contribution des résidus du bananier en conservation de l'eau et du sol. Bulletin Réseau Erosion, 13, ORSTOM Montpellier, p. 63 - 70.
- RISHIRUMUHIRWA, T., 1996.** The contribution of banana farming systems in sustainable land use in Burundi. Submitted to the 9~ ISCO conference, Bonn.
- RISHIRUMUHIRWA T. 1997.** Rôle du bananier dans le fonctionnement des exploitations agricoles sur les hauts plateaux de l'Afrique orientale (application au cas de la région du kirimiro-Burundi). Thèse de doctorat en sciences Techniques N°1636. Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL, Suisse), 224 p.
- RISHIRUMUHIRWA T., ROOSE E. 1998.** Effets des matières organiques et minérales sur la réhabilitation des sols acides de montagne du Burundi. Soil Congress. Symposium n°: 38
- ROOSE E. 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO* 70. 420 pages.
- ROOSE E., NYAMULINDA V., NDAYIZIGIYE F., BYILINGIRO E., 1988.** La GCES, une nouvelle stratégie antiérosive pour le Rwanda. *Bull. Agricole du Rwanda*, 4: 264-277.
- RUPIYA, P. 1993.** Essai de divers systèmes de protection d'exutoire et d'aménagement d'une ravine dans le Mumirwa (Cas de la ravine de Sagara). ISABU et FACAGRO, Bujumbura - Burundi.
- RURIHAFI J.M. 1993.** Essai de corrélation entre termes vernaculaires utilisés par les paysans pour caractériser les sols ; bassins versants de la Ntangwa et de la Muha. *FACAGRO & ISABU*. Bujumbura-Burundi.
- SIMONART T. 1992.** La conservation des sols en milieu paysan burundais ; étude et hiérarchisation des stratégies anti-érosives. *Université Catholique de Louvain La Neuve (Belgique) et ISABU- Bujumbura*. 141 pages + annexes et planches photos
- SIMONART T., DUCHAUFOR H., BIZIMANA M. et MIKOKORO C.1994.** La conservation des sols en milieu paysan burundais. Etude et hiérarchisation des stratégies anti-érosives. *Cahier d'Outre-Mer*, 47, (185) Janvier-Mars 1994

SNOECK D. 1995. Interactions entre végétaux fixateurs d'azote et non fixateurs en culture mixte : cas des *Leucaena spp.* Associées à *Coffea Arabica L.* au Burundi. Université de Lyon 1, 199 p. Thèse de doctorat d'Université.

Planches photos :

- .021(0 55231 ; <-31 070-A B5031
- .021(; 55231 070-A B5031 3802470974 / 0E19
- .021(2 5.4 34 14 *Tripsacum laxum* et de *Pennisetum*. L.J# 04707411
- .021(0 5/454; A1707411 470:7907410B931<
- .021(; 5/4542081707411
- .021(2 5.4 204; A10B931< 5:-1) 0-1107447101974/0701
- .021(0 5.47414/0E701-80121 5/425474/4558
- .021(5.47414/0E701-80121 5/4101/ <
- .021(0 5.4 00417. 47024208@
- .021(; 5.4 00417. 470@ 5B: @<-304 P ; 0018 N# / 470104
- .021(2 5.4 00417. 470@ 5B: @<-304 4709 P, 0018 N# / @
- .021\$ 5.4 00417. ; <1021 550741.04780:41081: A470904
- .0210 5.4 2947. M0417. 5/0;01 0184 / 0208147/0104
- .021& 5.0,001840808170100:G
- .021, 5.4:00182081 14 081 0808170 47/4280414 024



Carte 1 : Carte des différentes régions naturelles du Burundi (le nom de la région est mentionné en sous titre de chacune des photos)

L4 .847 14 92821 M8 /0
 .8724 14 /E 184127 DSE G
 B02@NB /4 F-1: JA44 47 14
 C=1074 DAC # F802G14 (** P
 (**\$ @7;0@P/J172714 6421
 A>84E31 I9 B931< D6B V0C4
 M7 281407 9F N81E
 14 82821 :8 /E8-<1)
 /A>8E8170447/00A2731427
 479X

L4 M7: =7 @80: @ N8 Y:70
 67AS Y 10t /4 208 14 :4
 E081 1J408 084E 14
 /J1487@C03 #21 14 L-904 41
 7:81(** :-9 /02= 1-87419D8X
 HXD\0HAW\N7D8BXDELAVX

C474 @4 2E01 @10 /42081
 14 074 19 .SE 14 /J0B\W087
 M8=F7214E8<8/4 /41 4781
 /0 82821 /4 104M817 47 /4
 MD :0t 01 14 E4F 8170<<8 /4
 4887 14 9t 4714 081X

Planche 1a : Structures biologiques antiérosives fourragères



Les structures et aménagements biologiques, de nature généralement linéaire, sont disposés en courbe de niveau. Elles agissent sur le facteur LS de Wischmeier en brisant la longueur (L) des parcelles. Elles sont connues par les paysans et font l'objet de toute vulgarisation antiérosive. Elles jouent des rôles multiples : limites de propriétés, production de bois, de paillage, de fourrages, de tuteurs, de compost, etc. Leur efficacité antiérosive va dépendre de leur disposition dans l'espace (densité, maillage), de leur entretien et de leurs adaptations écologique et pédologique. Leur présence dans l'exploitation paysanne est cependant bien plus motivée par leur utilisation *in fine* que par leur contribution à la protection du sol.

Planche 1b : Structures antiérosives fourragères (herbacées et arbustes légumineux)

Le *Setaria sphacelata* est une des graminées vivaces les plus représentées au Burundi. Disposé en haie, il est très efficace contre l'érosion en nappe et en rigoles par son système racinaire et ses rhizomes rampants, si du moins la plantation est suffisamment dense (+ ou – 15 cm entre chaque souche), large (3 ou 4 lignes en quinconce) et entretenue (coupe régulière et regarnissage dans les vides). Sa mise en place sur pente moyenne (20 à 40 %) conduit rapidement (2 à 3 ans) à la formation de terrasses progressives (ISABU, rapport annuel 1990-1991). C'est une espèce fourragère de bonne qualité (jusqu'à 0,75 UF/kg de pousses vertes). Comme de nombreuses graminées tropicales, le *Setaria* contient peu de Matière Azotée Digestible (12-16 g MAD/kg de pousses vertes - BRANDELARD, 1991) ce qui provoque un déséquilibre nutritionnel en défaveur des protéines si ingéré sans compléments par les bovins.



Les arbustes légumineux, tels que le *Calliandra calothyrsus*, sont très appréciés par les paysans burundais. Ils le connaissent principalement parce qu'il fournit du matériel ligneux à usage multiple et du bon fourrage. Pour les éleveurs qui pratiquent la stabulation permanente ou semi-permanente des ruminants, les feuilles de *Calliandra* sont une source protéinique qui équilibre la ration alimentaire. La haute digestibilité, la teneur élevée en certains nutriments et la forte teneur en tanin de *Calliandra calothyrsus* sont connues et font de lui un excellent supplément pour les fourrages de faible qualité pendant la saison sèche à condition de prendre en considération la teneur en tanin. A titre d'exemple, l'effet de la supplémentation protéinique sur la production de lait d'une vache locale (Ankole) est net : la lactation passe de 150 à 450-500 l. si la ration est composée pour moitié de fourrages naturels graminéens pauvres (*Eragrostis sp.*) et pour moitié de feuilles de *Calliandra calothyrsus* (2 pieds coupés / jour) et de *Setaria sp.* ou de *Tripsacum laxum* (une botte de 6 à 8 kg / jour) (POZY, 1991). Par ailleurs, l'espèce est très adaptée aux sols ferrallitiques acides : il produit + ou – 1,1 kg de matière sèche par m de haie simple et par an (4 coupes) soit 5 à 6 kg en poids frais ou + ou – 60 T/ha/an de matière fraîche (ISABU, 1992, BRANDELARD 1992, AKYEMPONG, 1992).

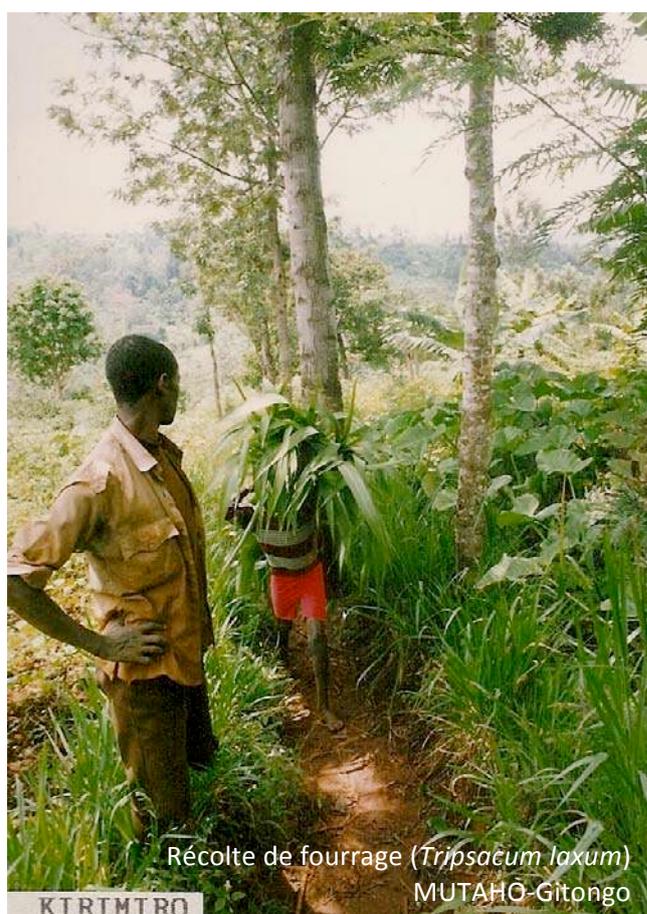
Planche 1c : Les haies de *Tripsacum laxum* et de *Pennisetum*. L'ensilage traditionnel



Haie de *Tripsacum laxum* vue de face (pente de 15 à 20 %) destinée pour le fourrage en saison sèche
MUGONGOMANGA

Le *Tripsacum laxum*, graminée vivace, peut être considérée comme l'espèce fourragère par excellence des agriculteurs éleveurs burundais (+ ou - 20 g MAD et 0,10 UF par kg de jeunes pousses en saison des pluies ou en saison sèche). On peut presque lier sa présence avec celle des grands ou petits ruminants. Cette espèce permet l'ensilage en saison des pluies pendant sa croissance maximale assurant une alimentation aux ruminants en saison sèche. Il ne fane pas en saison sèche même s'il ne croît plus.

A l'identique du *Pennisetum* sp., le *Tripsacum* est reconnu pour être une espèce exigeante. Elle est considérée à raison par les paysans comme concurrentielle vis-à-vis des cultures.



Récolte de fourrage (*Tripsacum laxum*)
MUTAHO-Gitongo

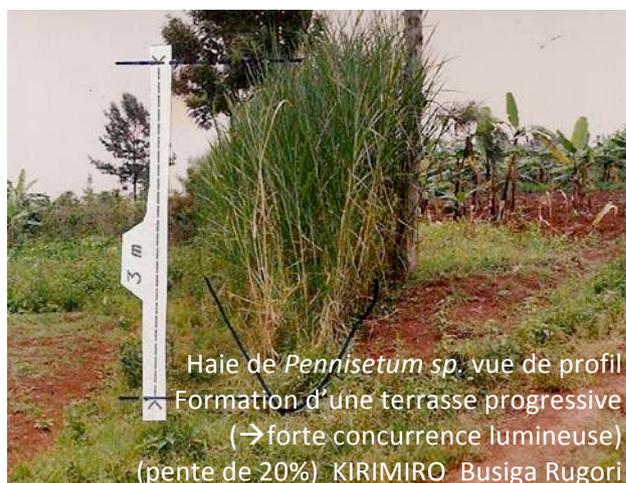
KIRIMIRO



Conservation des fourrages : ensilage de *Tripsacum laxum* et de tiges de *Zea mays*

MUGAMBA

GISOZI



Haie de *Pennisetum* sp. vue de profil
Formation d'une terrasse progressive
(→ forte concurrence lumineuse)
(pente de 20%) KIRIMIRO Busiga Rugori

Les travaux de recherche (ISABU, rapport annuel 1990 - 1991) montrent la concurrence d'une haie de deux rangées en quinconce (50 x 50 cm) de *Tripsacum* sur la production de manioc (15,8 T/ha). Elle est compensée par une production élevée de cette graminée (de 28T → 88T/ha de matière verte de la première coupe à la troisième coupe) pouvant être utilisée comme paillis (très efficace contre l'érosion) ou comme fourrage. En général, la croissance du *Tripsacum* est faible sur sol ferrallitique si aucun apport n'intervient ou s'il est coupé plus d'une fois par an. Il est en revanche plus productif en bonnes conditions pédologiques (sur sols suffisamment humides et fertiles) atteignant jusqu'à 60T de matière verte/ha/an en milieu paysan (PRPE ISABU, 1991, Brandelard, 1991).

Le pennisetum, communément appelé Bana Grass (variété hybride de *P. purpureum* x *P. thypoides*), est apprécié du paysan des régions d'altitude où les maisons sont encore construites avec des toits de tuiles ou de chaume nécessitant de nombreuses tiges lignifiées fournies par le pennisetum. Ces tiges servent également de tuteurs pour le haricot volubile, de petit bois de construction ou de chauffe et plus rarement de paillis. Les tiges peuvent être vendues (1 à 2 Fbu pièce en 1992)

Planche 2a : Elevage bovin traditionnel et la stabulation au Burundi

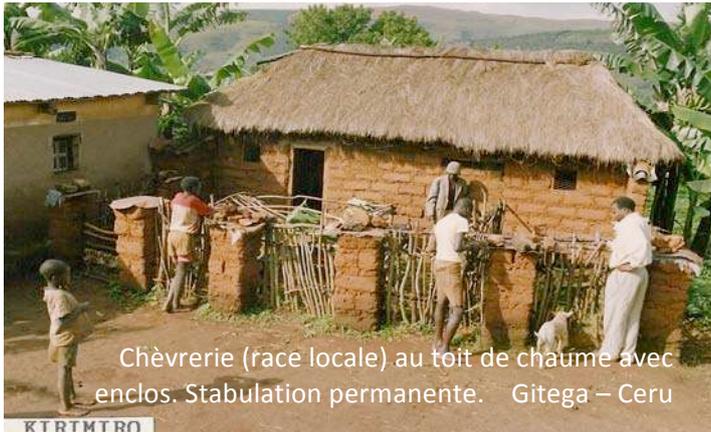


La conduite traditionnelle des ruminants est la stabulation libre c'est à dire le vagabondage des animaux dans les pâturages communaux la journée et le retour dans l'exploitation le soir. En général, ils ne reçoivent pas de compléments alimentaires mais se contentent d'herbes pâturées généralement très pauvres. La croissance des animaux et la production fumière sont très faibles. La quantité de fumier produite pesée à la sortie de l'étable est très faible : moins de 1,5 T/an/bovin adulte (Atelier Bututsi, POZY, 1989).

La stabulation semi-permanente est une conduite intermédiaire qui voit les animaux rester plus de temps en stabulation (nuit jusqu'à midi, parfois l'après-midi) pendant laquelle ils reçoivent des compléments fourragers coupés dans les haies vives (+/- 2 m de haie double de *Setaria sp.* ou touffes de *Tripsacum laxum* pour les bovins). C'est un système productif et stimulant favorisant une quantité de fumier plus élevée qu'en stabulation libre estimé entre 3 et 8 t/an/bovin adulte.

La stabulation permanente : Les animaux restent dans leur enclos toute la journée et la nuit. Ils sont pris en charge entièrement par la famille ⇨ équivalent de 4 à 5 m de haie vive de *Setaria* ou 5 touffes de *Tripsacum* avec bien souvent des mélanges de légumineuses (*Calliandra*, *Leucaena*) et des résidus de cultures (fanés, pelures de bananes, tige de maïs). Elle libère l'exploitant du gardiennage mais l'oblige à trouver quotidiennement des fourrages en quantité suffisante et à les apporter à ses animaux. La quantité de fumier produite est élevée (8 à 12 t/an/bovin adulte, fonction de la litière fournie).

Planche 2b : Elevage caprin traditionnel



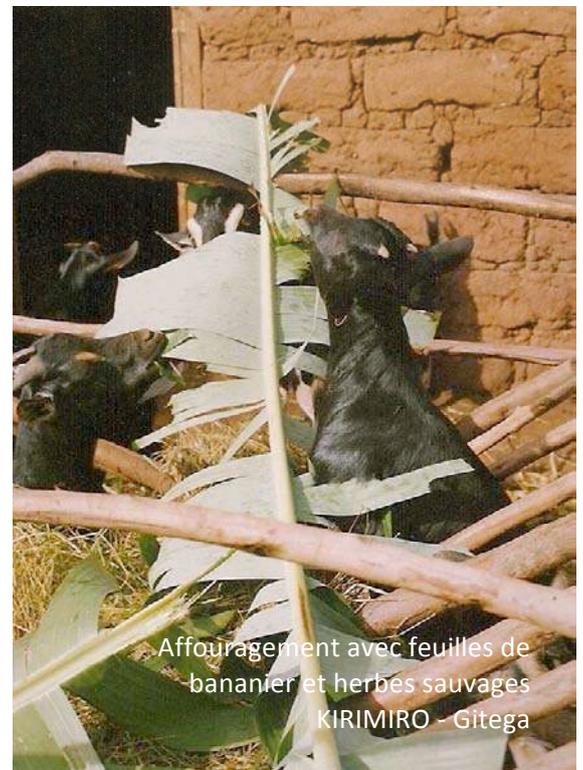
KIRIMIRO

La **conduite traditionnelle** des petits ruminants est le plus souvent la stabulation libre. Il arrive fréquemment que les moutons et chèvres passent la nuit dans la maison familiale. En général, ils ne reçoivent pas de compléments alimentaires mais se contentent de jeunes pousses d'herbes pâturées. La croissance des animaux et la production fumièrre sont très faibles.

La **conduite en stabulation semi-permanente, ou plus exceptionnellement permanente**, permet aux animaux de recevoir un apport de légumineuses et de graminées comme le *Setaria sp.*, *Tripsacum laxum* ou *Pennisetum sp.* plus riches en Matières Azotées Digestibles (MAD).



MUGAMBA



KIRIMIRO - Gitega



Station du projet PIPRA - Murongwe

KIRIMIRO



BUSIGA - Kididiri

BUYENZI



BUYENZI

Mwumba -Buye

Planche 2c : L'élevage bovin au Burundi : soins, alimentation et production laitière



Une vache locale et son veau croisé *Ankole x Sahiwal* (50-50) MWUMBA - Gakenke

BUYENZI



Les tiques (genre *Rhipi cephalus*) sont des acariens vecteurs de *Theileria*, un sporozoaire parasitant les globules rouges et provoquant la théilériose. Projet de NYANZA-Lac



Aliments pour bétail : résidus de l'industrie agroalimentaire burundaise (drèches de la brasserie BRARUDI de Gitega)

KIRITHIRO



Ici parasitose au niveau des oreilles, des yeux et du scrotum d'un bœuf de traction. Projet de NYANZA-Lac



Tourteau de palmiste et son de céréales à Gisozi

Les paysans burundais sont peu habitués à la stabulation permanente dont la pratique est plus exigeante. Ils n'en voient pas l'intérêt avec la race locale Ankole mais plutôt avec les vaches améliorées plus productives. Ces dernières sont souvent plus sensibles à certaines maladies et surtout plus coûteuses (2 à 5 fois) que les vaches locales. Les soins médicaux sont obligatoires, non gratuits, pour assurer la survie et la croissance de ces animaux. La lutte contre les tiques est une priorité et un encadrement minimum s'impose. Si la stabulation permanente ne « s'improvise pas », elle permet néanmoins d'élever des races Sahiwal ou exotiques dont le potentiel génétique est supérieur à la race rustique locale (lactation, croissance, fécondité, précocité).

Lactations bovines que l'on peut espérer en milieu rural en fonction de la race et du type de conduite des animaux :

Mode de stabulation / Races	ANKOLE	SAHIWAL*	RACE EXOTIQUE
Libre (traditionnelle)	+ / - 150	ND	inadaptée
Semi-permanente	400-500	900 - 1000	inadaptée
Permanente	600-900	1400-1600	2000-3000

Unités = litres de lait trait/lactation (production nette n'incluant pas la part du veau)

Sources : ISABU, projet FAO/PNUD, MERCY in SIMONART, 1992

* Race tropicale rustique **ND** : Non déterminé

Planche 3a : Gestion de la matière organique : le compost et le fumier



Fosse compostière traditionnelle non couverte
MOSO - KINYINYA



Fosse compostière couverte de maracuja
(*Passiflora edulis*)
KIRIMIRO BUSIGA - Kididiri



Tas compostière (modèle GTZ Ruyigi)
en bord de champ
BUYOGOMA - RUYIGI



Tas compostière (modèle P.D.R. MOSO)
au milieu d'une parcelle vivrière
MOSO - KINYINYA

La bonne gestion des intrants organiques (composts et fumier) assure l'essentiel de la fertilisation des parcelles vivrières afin de garantir en principe la sécurité alimentaire dont la préoccupation est prioritaire pour les paysans et leur famille. La majorité des sols cultivés au Burundi sont des sols ferrallitiques à faible pouvoir de rétention des cations ($CEC < 5-7 \text{ méq}/100\text{g}$ de terre) et souvent carencés en K et P. Le rôle de la Matière Organique Fraîche (MOF) sur la fertilité des sols ferrallitiques est multiple, à la fois physique, chimique et biologique. Grâce à sa forte charge négative, elle contribue à la détoxification de l' Al^{3+} des terres alliques par formation d'un complexe alumino-organique $[Al(MO)_x]$ et libération de phosphore biodisponible ($H_2PO_4^{2-}$).

Le compost du paysan burundais est un mélange de déchets de toutes origines : fanes des cultures, résidus de sarclage, fumier (si élevage) mauvaises herbes, stipes, épluchures des bananes à bière, eaux usées, cendres, etc. C'est la poubelle de l'exploitation.

Le compost est exceptionnellement retourné et haché, jamais arrosé, rarement d'un volume important et souvent mal protégé du soleil.

Il existe deux grands types de compostière :

- une fosse remplie au fur et à mesure, parfois couverte et le plus souvent, à moitié vide (lourde contrainte).
- Compostière en tas disposée au milieu même des cultures sans localisation fixe, ce qui évite un gros travail par rapport à la fosse (mieux acceptée par le paysan)



Epandage de fumier
MURAMVYA



Epandage de fumier sur une
parcelle vivrière
BUTUTSI BUYENGERO Runyinya

Planche 3b : Gestion de la matière organique : le paillis



Paillage complet obligatoire sur caféière et léger sur champ de manioc
MUMIRWA KANYOSHA – Kiyenzi



Paillage d'une parcelle d'ananas (feuilles de bananier et tiges de maïs)
MUMIRWA – MUBIMBI – Gisagara



Paillage continu entre les buttes de manioc (déchets de sarclage)
IMBO (Rumonge) BUHURIKIRO – Gitwe



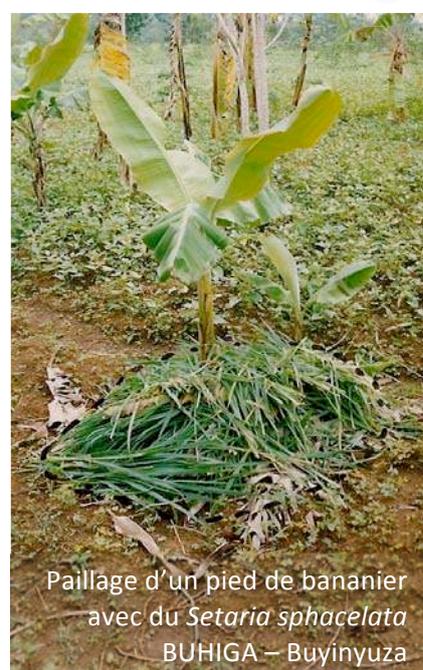
Paillage d'une double bande de bananiers avec des feuilles et branches de *Grevillea robusta*
KIMIRO – BUSIGA - Rugori



Paillage d'un fosse à bananiers (tiges de maïs, feuilles de bananiers)
KIRIMIRO BUHIGA - Buvinyuzā



Mise en andain du paillis (déchets de culture) dans une bananeraie éclaircie
BUTUTSI VUGIZO – Rutegama



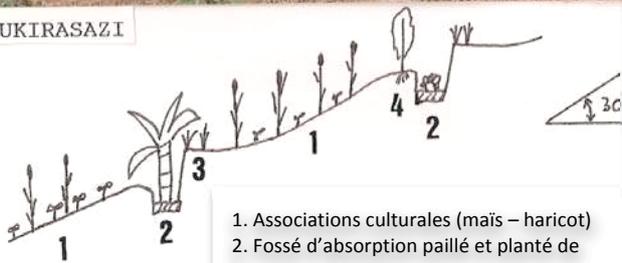
Paillage d'un pied de bananier avec du *Setaria sphacelata*
BUHIGA – Buyinyuzā

Le paillage est, comme le compost et le fumier, une technique de restitution organique, sans enfouissement, de divers végétaux à la surface des parcelles cultivées (annuelles ou pérennes). Son but est triple : 1°) protéger un sol nu ou peu couvert contre le « splash » et le ruissellement et l'érosion qui s'en suivent, 2°) restituer aux cultures des nutriments indispensables et 3°) maintenir un gradient d'humidité à la surface. Il permet également de lutter contre les adventices lorsqu'il est épais (plusieurs cm) et réparti sur toute la parcelle. Malgré les avantages antiérosifs certains, le paillage est peu pratiqué si ce n'est pour le café (obligatoire au Burundi) et les plantations d'ananas. Une des raisons majeures est le manque de déchets végétaux disponibles dans l'exploitation, soit parce qu'ils sont brûlés, donnés aux animaux, mis dans la compostière ou encore réservés exclusivement à la caféière, ce qui ne va pas sans créer des problèmes : déficit organique dans les parcelles vivrières car toute production est exportée, travail supplémentaire pour respecter la loi, etc.

Planche 4a : Les aménagements intégrés encadrés



BUKIRASAZI

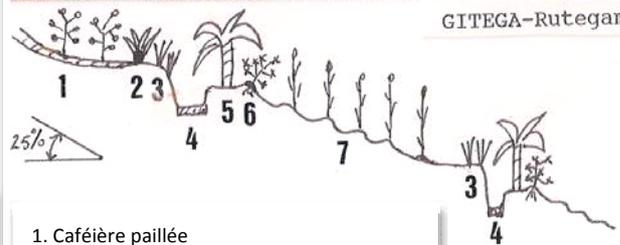


1. Associations culturales (maïs – haricot)
2. Fossé d'absorption paillé et planté de bananiers, légumes...
3. Haie herbacée (*Setaria sp.*)
4. Rangée arbustive (*Grevillea robusta*) ;
Avant-plan : parcelle de manioc non aménagée, bordée de *Grevillea Robusta*



KIRIMIRO

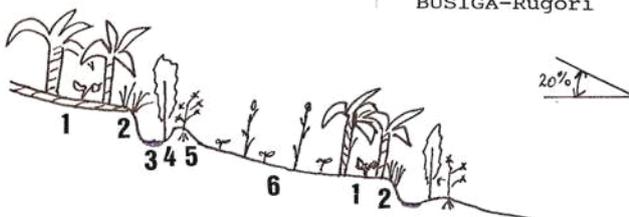
GITEGA-Rutegama



1. Cafetière paillée
2. Ligne d'ananas
3. Haie herbacée (*Setaria sp.*)
4. Fossé d'absorption
5. Bande de bananiers
6. Ligne simple de manioc
7. Parcelle de maïs



BUSIGA-Rugori

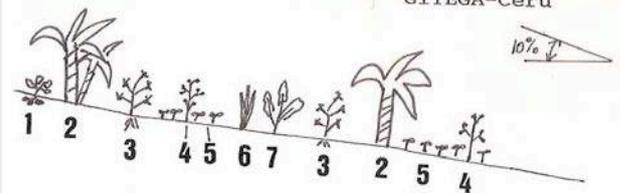


1. Double bande de bananiers associés à de la colocase
2. Haie herbacée (*Setaria sp.*)
3. Chemin paillé
4. *Grevillea robusta*
5. Ligne simple de manioc
6. Associations culturales (terrain nu après labour)



KIRIMIRO

GITEGA-Ceru



1. Bande de patate douce
2. Bande de bananiers
3. Ligne simple de manioc
4. Ligne de pois cajun
5. Semis en ligne de haricot
6. Ligne de canne à sucre
7. Haie arbustive (*Calliandra calothyrsus*)

Planche 4b : Les aménagements intégrés : fossés isohypses à bananiers paillés et andains



Aménagement d'une haie arbustive + fruitiers + double ligne d'herbacées (*Setaria sp.*) + une ligne de bananiers en inter billon
Semis en ligne du haricot. ITAB Karuzi



Fossé compostière et fumier pour bananiers. Association dense de cultures vivrières et légumières (pente 10%)
SRD KIRIMIRO – Gitega Rutegama



Fossé paillé à bananiers et bande de *Setaria sp* sur butte continue (remblai). Semis en ligne du haricot. Paysan modèle primé SRD KIRIMIRO



Paillage en andain de la bananeraie éclaircie associée ou non aux cultures vivrières et aux arbres ITAB Karuzi (sol pH = 4,5 à 5)



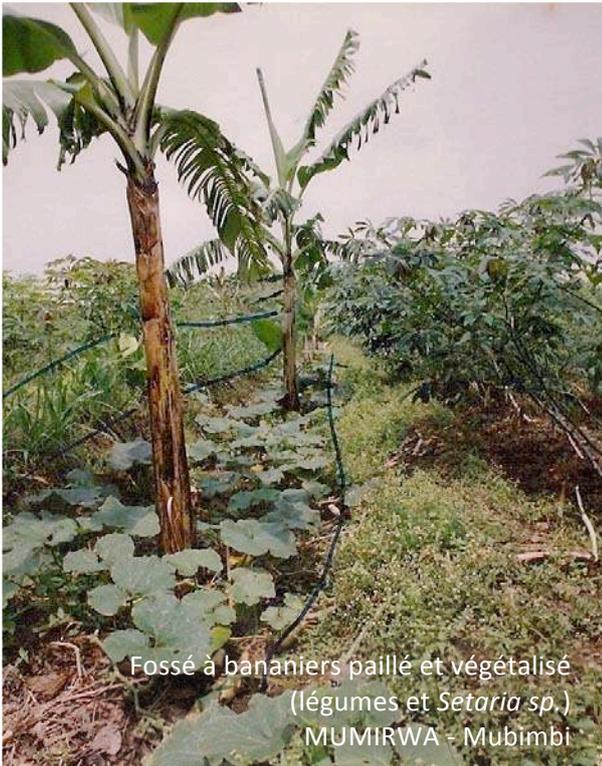
Bananiers et colocases isohypses paillés plantés en amont d'une haie mixte de *Setaria* et d'arbustes légumineux. Un petit fossé sépare la parcelle maïs / manioc
Projet FAO- PNUD Gitega – Rutegama



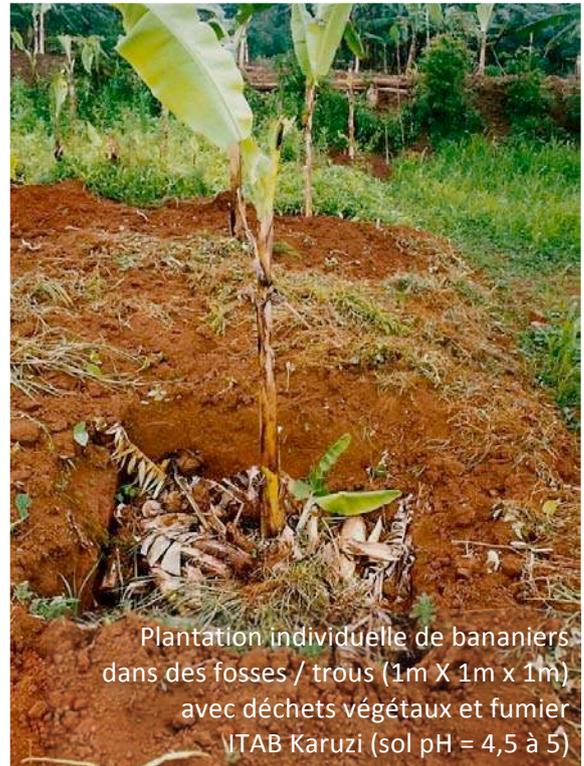
Talus de *Setaria sp* + paillage du fossé avec des déchets de la bananeraie (absorption de l'eau et évite le ruissellement)
SRD BUYENZI Busiga – Kididiri

Ce type d'association vivres-ligneux-herbacées est une des formes de ce que l'on appelle communément les cultures en couloirs. Leur disposition en courbe de niveau dans le parcellaire des exploitations paysannes est un moyen efficace de préserver les sols de l'érosion et de maintenir la productivité des terres. Si non coupée régulièrement (3 à 4 fois : an), ces aménagements biologiques concurrencent par leur ombre portée les cultures vivrières sur environ 1 m de chaque côté de la haie soit 2 fois deux lignes de manioc par exemple. Par ailleurs, la place prise par ces aménagements est aussi perçue par le paysan comme une perte d'espace cultivé qui n'est acceptée que grâce aux avantages concrets que procure la haie.

Planche 4c : Les aménagements intégrés : fossés isohypses et trous à bananiers paillés



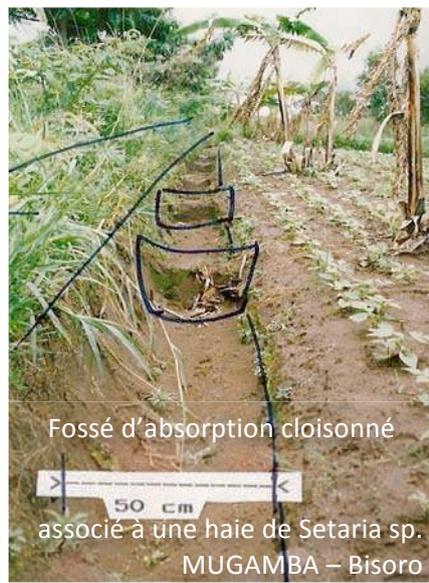
Fossé à bananiers paillé et végétalisé
(légumes et *Setaria* sp.)
MUMIRWA - Mubimbi



Plantation individuelle de bananiers
dans des fosses / trous (1m X 1m x 1m)
avec déchets végétaux et fumier
ITAB Karuzi (sol pH = 4,5 à 5)



Paillage d'un pied de bananier avec
du *Setaria sphacelata*
ITAB Karuzi - Buhiga (pH = 4,5 à 5)



Fossé d'absorption cloisonné
associé à une haie de *Setaria* sp.
MUGAMBA - Bisoro



Fossé à bananiers trop large
(1,5 m) creusé dans un sol pauvre,
peu humifère et fragile.
Karuzi - Bweru



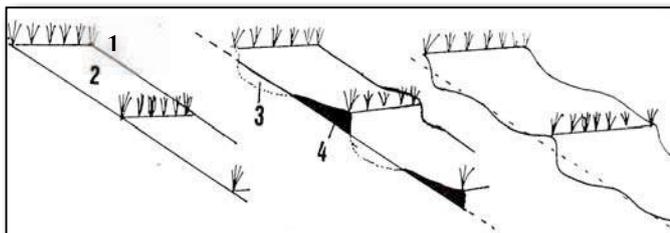
Plantation d'une bananeraie juvénile
dans un fossé isohypse très large, non
cloisonné et talus vertical. Remblai
planté de souches de *Setaria* sp.
Gitega - Makebuko



Glacis de battance dans fossé à
bananiers trop large (1,5 m), non
paillé et éboulement du talus trop
vertical
SRD KIRIMIRO - Songa

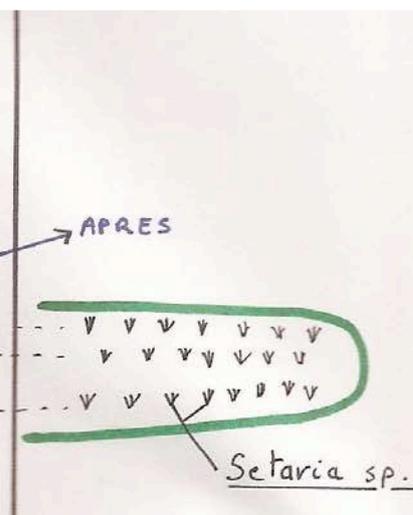
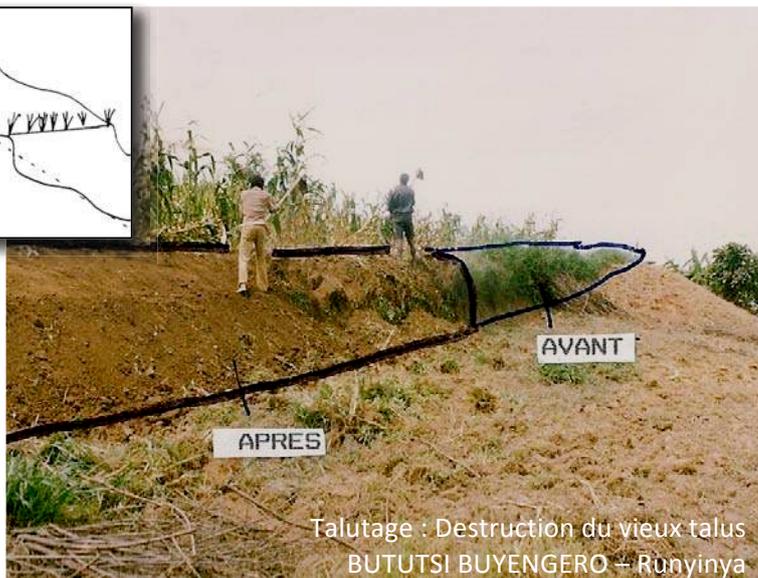
Certaines exploitations encadrées par des projets de la coopération internationale ou de l'Etat peuvent être considérées comme modèles par l'intégration de leurs aménagements conservatoires et par leur gestion de l'espace et de la biomasse. Elles sont toutes caractérisées par la présence de bétail (bovin ou caprin), par la conduite intensive ou semi intensive de haies fourragères diverses (*Setaria*, *Tripsacum*, *Calliandra*, *Leucaena*, etc.) et par la pratique de cultures en couloir variées et du semis en ligne. La situation de ces exploitations, apparemment enviables et qualifiées de modèles, résulte inévitablement de beaucoup de volonté et de travail de l'exploitant mais ne contribue pas pour autant à une meilleure productivité et performance économique en terme de valeur ajoutée

Planche 5 : Aménagements biophysiques : formation d'une terrasse progressive et talutage



Formation d'une terrasse progressive :

1. Haie vive (herbacées et/ou arbustes)
2. Parcelle mise en culture
3. Décapement de l'horizon superficiel
4. Atterrissement, augmentation de la profondeur de l'horizon superficiel



Les haies vives réduisent sans conteste le processus d'érosion mais ne le suppriment pas totalement puisque l'érosion se manifeste par un décapage du sol en amont des parcelles et un atterrissement en aval, bloqué par la haie inférieure. L'érosion peut être forte si les sols sont peu couverts mais après les premiers mois suivant la plantation, l'effet antiérosif se marque très bien (cf. résultats in DUCHAUFOR et BIZIMANA, 1996).

La conséquence peut en être alors une baisse de productivité (petite taille des cultures vivrières et jaunissement et feuillement de la culture intercalaire : haricot, maïs, sorgho,...), sensibilité plus forte aux maladies comme la mouche du haricot par exemple et en aval des haies, par disparition progressive de l'horizon humifère superficiel.

Planche 6a : Les couverts permanents : la bananeraie, la caféière et la pinède



Vue du bassin versant de la Ntakangwa en amont de la capitale Bujumbura au niveau du synclinal schisto-basique d'Isale → couverture dominée par la bananeraie agroforestière dense. En arrière plan, la crête grésio-quarzitique du Congo-Nil, surplombée par le Mont Manga (2 510 m) et occupée par des plantations de pins et de Callitris

MUMIRW



Alignement de bananiers associés à la culture de haricot en ligne

KIRIMIRO

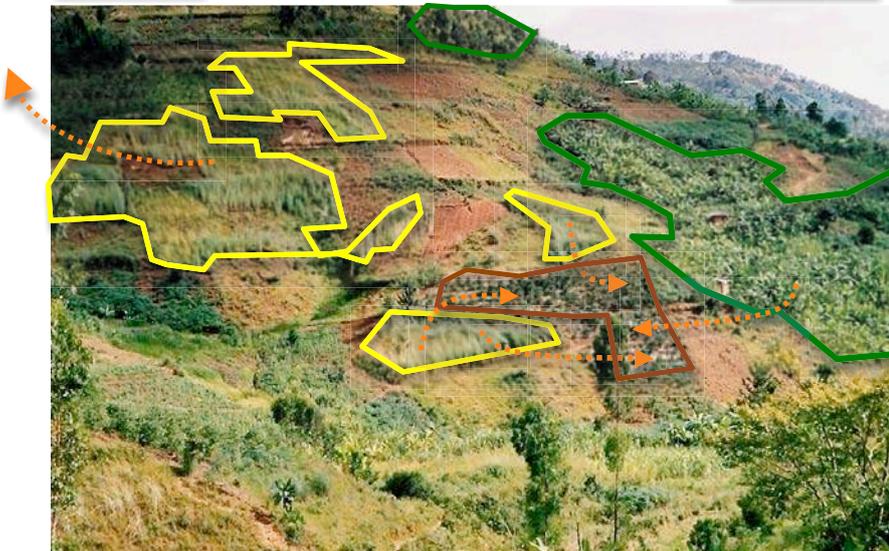
ITAB Karuzi



Bananeraie ancienne paillée et améliorée avec du fumier et compost

MUMIRWA

Mubimbi



-  Bananeraie agroforestière traditionnelle (forte densité autour des rugos => **capital fertilité**)
-  Caféière paillée (paillis de 7 cm d'épaisseur imposé par la loi)
-  Jachères saisonnières à *Hyparrhenia sp.* destinées au paillage des caféières de proximité
-  Exportation de la biomasse => **transfert de fertilité** vers les caféières



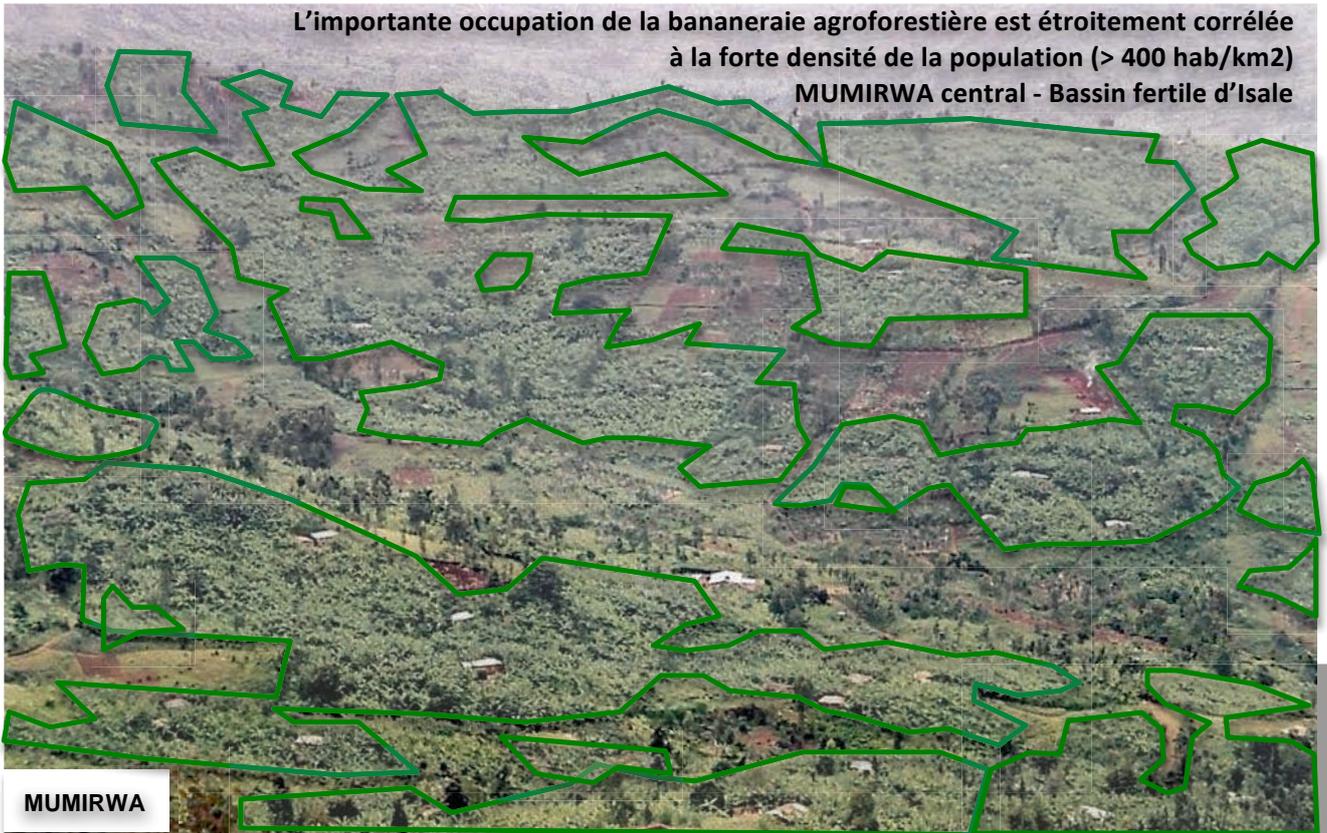
Épaisse litière d'aiguilles de pin d'une pinède de la crête Congo-Nil
MUMIRWA – Rushubi (1850 m)

MUMIRWA

La bananeraie agroforestière dense est composée de trois strates de végétation au sein desquelles le bananier constitue la composante principale. Cet agro-système, typique de l'agriculture burundaise, ceinture les habitations burundaises (rugos) et reçoit tous les déchets organiques de la cuisine. Il offre de nombreux produits indispensables à la vie des familles rurales et, plus encore que la culture caféière, contribue à l'équilibre économique et social sur les collines. Sa conduite intensive associée à une bonne gestion des intrants organiques (disposition des déchets végétaux en andains, fumure organique régulière et suffisante) en fait un couvert protecteur efficace contre l'érosion. La bananeraie constitue par ailleurs un capital transmis d'une génération à l'autre.

Planche 6b : La bananeraie agroforestière (détails)

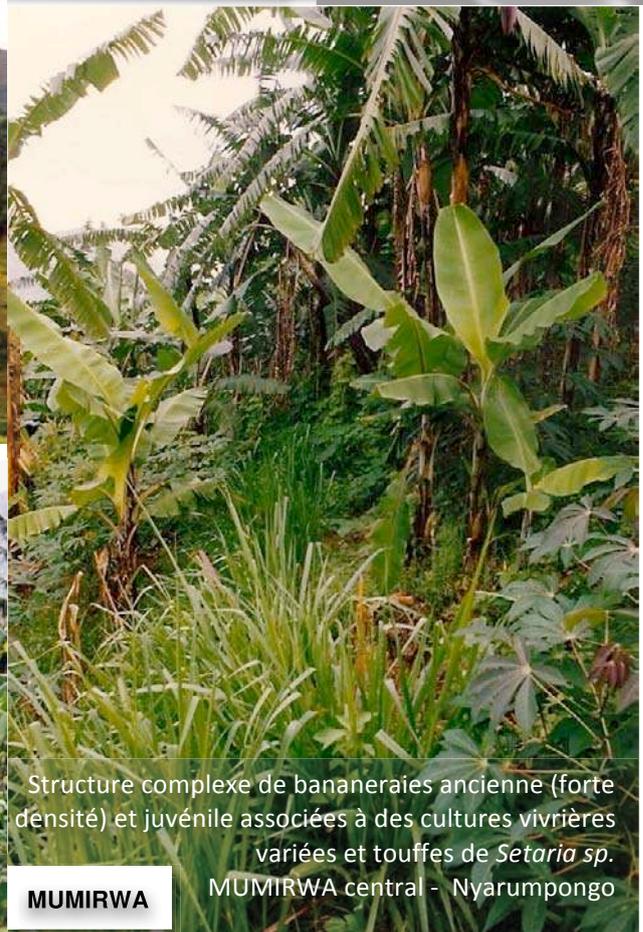
L'importante occupation de la bananeraie agroforestière est étroitement corrélée à la forte densité de la population (> 400 hab/km²)
MUMIRWA central - Bassin fertile d'Isale



MUMIRWA



En arrière plan, le pédo-paysage à bananeraie dense (schiste avec intrusion basique). Plantations de *Callitris* sur les arêtes et crêtes grésio-quarzitiques.
MUMIRWA Central



Structure complexe de bananeraies ancienne (forte densité) et juvénile associées à des cultures vivrières variées et touffes de *Setaria sp.*
MUMIRWA central - Nyarumpongo

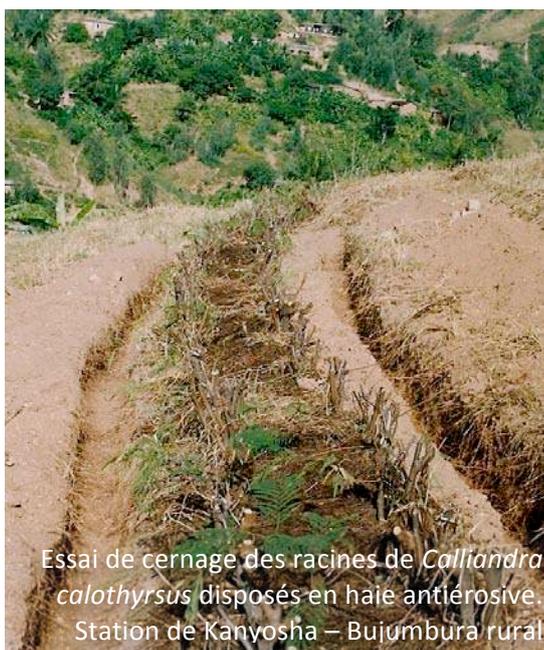


MUMIRWA

Rugo entouré de son jardin multiétagé
MUMIRWA central - Nyarumpongo

MUMIRWA

Planche 7 : Le système racinaire des arbres agroforestiers et le cernage des racines



Essai de cernage des racines de *Calliandra calothyrsus* disposés en haie antiérosive. Station de Kanyosha – Bujumbura rural

Le *Grevillea robusta* (chêne argenté d'Australie) est une espèce introduite depuis l'administration coloniale et fait partie du paysage burundais. Les paysans la connaissent très bien et l'apprécient beaucoup. Sa productivité est élevée (bois de construction du rugo, étable, séchoir après 5 à 7 ans). Les branches élaguées servent soit de paillage, soit de perches. Son feuillage riche en azote et peu cellulosique est restitué au sol et vite minéralisé. Il est considéré par les paysans comme peu concurrentiel avec les cultures (fut droit, canopée haute et ombrage limité). On le rencontre souvent au sein des parcelles cultivées (sols profonds), des caféières ou en limite de parcelle matérialisant ainsi les limites de propriétés. Son impressionnant système racinaire, oblique et plongeant, lui assure une stabilité excellente tout en permettant de bien fixer les sols. Lors des travaux de préparation du sol, les paysans n'hésitent pas à cerner volontairement les racines de surface lorsque l'arbre est encore jeune (1 à 2 ans) pour provoquer une réorientation des racines vers le bas (NDIKUMWAMI et al, 1991).

Les arbres se rencontrent un peu partout dans l'exploitation burundaise. De nombreuses espèces, allant des fruitiers aux arbres agroforestiers exotiques ou naturels témoignent souvent d'une mise en valeur récente des terres.

On en retrouve cependant que quelques uns dans les structures de conservations des sols proprement dites. Comme pour les herbacées et les arbustes légumineux, la présence d'aménagements arbustifs et la diversité des espèces rencontrées résultent le plus souvent du dynamisme des projets de développement.

On peut citer trois espèces agroforestières de prédilection pour le paysan burundais : le *Grevillea robusta*, le *Cedrela odorata* et le *Cedrela serrulata*.



Système racinaire d'un *Grevillea* développé sur un sol ferrallitique profond
KIRIMIRO – Gitéga



Système racinaire d'un *Cedrela* sp. situé au milieu d'une parcelle vivrière (sol ferrallitique profond)
KIRIMIRO – Gitéga

Le *Cedrela* sp. est un arbre à fut droit et mince. Il donne un très bon bois d'œuvre de couleur rouge résistant aux termites. *Cedrela serrulata* est apparemment mieux apprécié par les paysans que *Cedrela odorata* surtout à proximité de l'habitat car ce dernier dégage une odeur désagréable, d'où son nom. Ses caractéristiques racinaires sont semblables à celles du *Grevillea*, raison pour laquelle il est fréquemment observé en milieu de parcelles cultivées ou associé aux structures antiérosives. Il est très représenté dans l'escarpement du Mumirwa central.

Influence de la conduite de la bananeraie et du paillage sur l'érosion en Martinique sur sols brun-rouille à halloysite.

Achard Raphaël¹, Hubert Antoine¹

1 CIRAD, UPR26, PRAM, Petit Morne, BP 214, 97285 Le Lamentin Cedex 2, France, raphael.achard@cirad.fr

Résumé

En Martinique, le niveau d'érosion est considéré comme modéré en bananeraie établie semi-pérenne ; par contre, une forte érosion a été constatée sur des systèmes de culture intensifs régulièrement renouvelés. Une étude a été réalisée sur un dispositif de cases d'érosion, où sont comparés le ruissellement et l'érosion sur un système de bananeraie intensif conduit en double ligne dans le sens de la pente par rapport à un système de type semi-pérenne, planté en quinconce. Durant une première période, le paillis des résidus de culture a été concentré dans les inter-rangs pour neutraliser les différences de gestion de paillis entre ces systèmes : dans ce cas l'érosion observée est élevée, supérieure au témoin sur sol nu. Sur la parcelle de bananeraie semi-pérenne, l'érosion est bien moindre que sur le témoin. Dans un deuxième temps, on a dispersé le paillis sur toute la surface et observé une forte baisse de l'érosion, même sur la parcelle intensive. Ces observations confirment que l'érosion en bananeraie dépend de l'organisation spatiale de la parcelle, mais surtout de la gestion des résidus de culture à la surface du sol.

Mots clés : Martinique, bananeraie, conduite de la culture, épandage des résidus de culture, érosion

Abstract

In West Indies, Martinique Island, erosion is estimated moderate under semi-perennial banana plantation but important under intensive regularly denuded plantation system. A study in runoff plots showed that intensive plantation disposed on two rows along the slope with cropping residues (banana leaves) concentrated in between, showed a more intensive erosion that the standard. During a second period, the leaves were spraid on the whole surface and erosion was much less intensive, even on the intensive banana plantation plot. These observations confirmed that erosion under banana plantation depends on the spatial organisation of the plantation but, mostly on the way the crop residues are spraid on the soil surface.

Keywords: Martinique Island, Banana plantation systems, mulching of crop residues, erosion

1. Introduction

En Martinique, des études sur l'impact des systèmes de culture sur le fonctionnement hydrique, le ruissellement et l'érosion sur sols bruns rouille à halloysite ont montré que sur cannes et bananes (parcelle établie avec paillis de résidus) les risques d'érosion étaient moindres que sur ananas et sol nu (Khamsouk, 2001). Néanmoins, le bananier, de part sa structure, concentre les pluies incidentes et est susceptible de saturer rapidement la conductivité au pied du bananier et de générer un ruissellement non négligeable (Roose et al., 1999, Cattan, 2009). Sur bananeraie établie, nous avons antérieurement mesuré sur un système intensif implanté en double ligne dans le sens de la pente, avec travail du sol profond et localisation des résidus dans le grand rang un fort ruissellement et une érosion de 44 T/ha/an de pertes en terre. Dans le même contexte une bananeraie établie plantée en quinconce avec paillis de résidu réparti sur toute la surface du sol génère une érosion inférieure à 1t/ha. La différence de gestion du paillis qui a déjà été décrit en bananeraie comme un facteur important de limitation de l'érosion (Rishirumuhirwa, 1993, Roose et al., 1999) pourrait expliquer en grande partie cette différence de comportement.

2. Matériel et méthodes

L'objectif est de comparer en bananeraie établie le ruissellement et l'érosion sur deux systèmes de culture sur sols brun-rouilles à halloysite (site de Rivière Lézarde, centre de la Martinique) avec une pente de 10% :

- « Ban B » un système de cultures « intensif » parcelle établie de 3 ans replantée après labour profond du sol et plantation en doubles lignes dans le sens de la pente, paillage du grand rang avec les résidus de culture (localisation du paillage dans le but de limiter sur cette zone la croissance des adventices),
- « Ban C » un système « semi-pérenne », parcelle plantée depuis plus de 8 ans en quinconce après un travail du sol superficiel, déchets répartis sur toute la surface.

Durant une année, nous avons donc évalué le ruissellement sur ces deux systèmes en conditions de paillis équivalentes en localisant des déchets végétaux sur le grand rang dans le sens de la pente lorsque les bananiers sont plantés en double ligne, en réalisant un andain avec les résidus au milieu de la parcelle dans le cas de la parcelle semi-pérenne plantée en quiconque.

En début de deuxième année, à l'inverse de la pratique l'année précédente, le paillis a été réparti sur toute la surface du sol sur les deux systèmes, afin de pouvoir évaluer par comparaison l'effet direct du paillis sur le ruissellement et l'érosion.

Le dispositif d'évaluation du ruissellement et de l'érosion des bananeraies consiste en une collecte sur une parcelle de 200m² (20m de longueur x 10m de largeur) isolée du fonctionnement hydrologique du reste de la parcelle (par une tôle métallique plantée dans le sol en amont et sur les côtés) collectant la lame ruisselée dans un bac bétonné à (contenance du bac de 0,75 m³). Lorsque ce bac déborde, le flux est divisé par un partiteur dont une des sorties est collectée dans un fût de 200 litres, son contenu pouvant être converti en lame ruisselée (sur la base du calibrage du partiteur). Le bac en béton collecte aussi les sédiments issus de l'érosion.

Ces parcelles seront comparées à un témoin international (Wischmeier and Smith, 1978), à savoir une parcelle de sol nu labouré de 5×20m avec le même dispositif d'évaluation du ruissellement et de l'érosion.

3. Résultats

Ruissellement

En 2004 lorsque le paillis était localisé dans les inter-rangs, il est observé un plus fort ruissellement sur la parcelle « intensive » par rapport à la parcelle « semi-pérenne » plantée en quiconque. Ces deux parcelles montrent néanmoins un ruissellement inférieur à celui observé sur le témoin sol nu.

De janvier à début février lorsque le paillis est réparti sur toute la surface, sur la parcelle « intensive » le ruissellement apparaît moindre qu'auparavant, sur la parcelle « semi-pérenne » le ruissellement apparaît peu réduit (cf. figure 1).

Sur la parcelle intensive, le fort ruissellement est à rapprocher de l'orientation dans le sens de la pente des lignes de plantations, où les flux d'eau ruisselant sur le tronc du bananier forment en s'ajoutant d'importants flux d'eaux alors qu'à l'inverse avec un dispositif en quinconce ces flux sont plus dispersés.

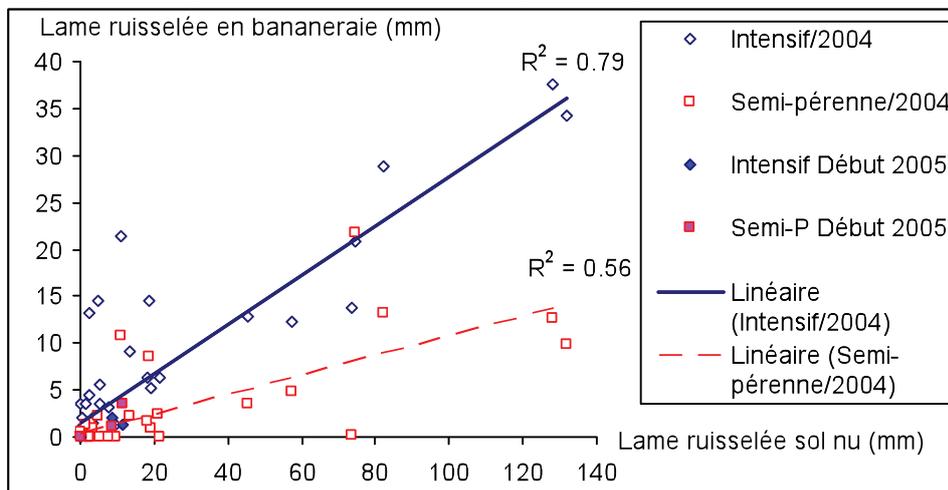


Figure 1 : Ruissellement en bananeraie en fonction du ruissellement sur sol nu

Erosion

Sur la période de l'étude, 2004 (figure 2), l'érosion sur les bananeraies est fortement corrélée à celle présente sur le témoin sur sol nu, celle obtenue sur la parcelle « semi-pérenne » étant moindre que sur le témoin. On constate sur la parcelle « intensive » une plus forte érosion que sur la parcelle « semi-pérenne » (environ le double). La faible érosion sur la parcelle semi-pérenne est conforme aux travaux de Khamsouk pour une conduite similaire de la bananeraie. Sur la parcelle intensive, la forte érosion est à rapprocher de l'orientation dans le sens de la pente des lignes de plantations qui favorise le ruissellement. Il est aussi probable que les états des surfaces plus favorables à la réinfiltration soit présent sur la parcelle « semi-pérenne ». Il en résulte néanmoins, qu'indépendamment de la gestion du paillis, il est constaté une érosion très supérieure sur le système bananeraie « intensive » que dans des systèmes semi-pérenne plus traditionnels.

En présence de paillis sur toute la surface, l'érosion est drastiquement réduite dans les deux cas. En plus du dispositif de plantation, la gestion du paillis, est donc un facteur primordial à prendre en compte pour évaluer les risques d'érosion en

bananeraie établie, ce qui est tout à fait cohérent avec des travaux menés par ailleurs (Rishirumuhirwa, 1993, Roose et al., 1999).

La forte érosion observée sur les parcelles conduites en « intensive » est donc à relier à la combinaison d'un dispositif de plantation et d'une gestion des résidus tous deux favorables au ruissellement et à l'érosion. Le risque d'érosion sur bananeraie intensive pourrait donc être fortement réduit avec une localisation des résidus de culture sur toute la surface.

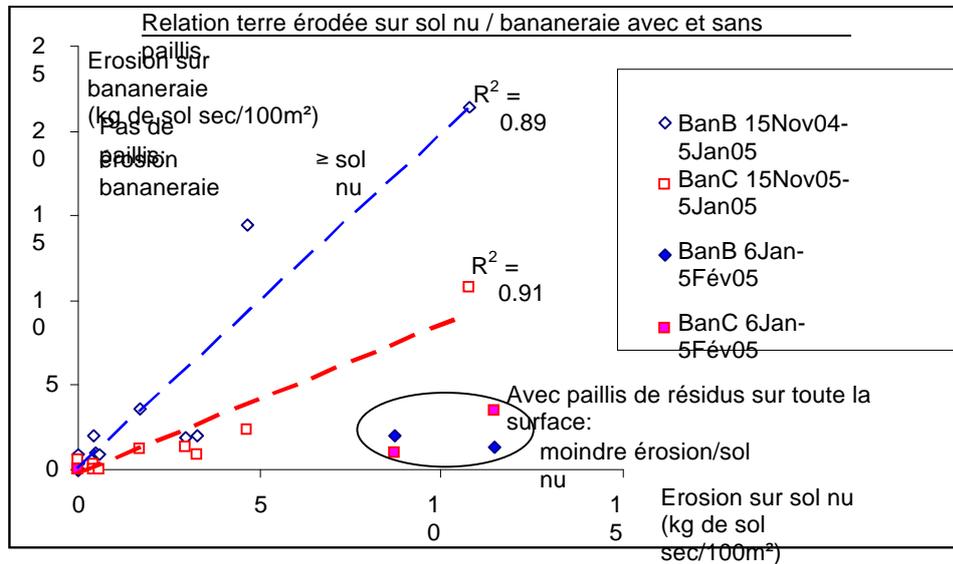


Figure 2 : Erosion en bananeraie en fonction du ruissellement sur sol nu

4. Conclusion et perspectives

Il a été mesuré une érosion très supérieure sur le système bananeraie « intensive » qui dépasse l'érosion sur sol nu. Les bananeraies «semi-pérenne » plus vieilles, plantées en quiconque et avec un paillage par les résidus répartis sur toute la surface présentent à l'inverse des risques modérés d'érosion. La forte érosion observée sur les parcelles conduites en « intensive » est donc à relier à la combinaison d'un dispositif de plantation et d'une gestion des résidus tous deux favorables au ruissellement et à l'érosion. Il est par ailleurs confirmé que c'est la localisation des résidus de cultures ou leur dispersion sur toute la surface qui a un effet prédominant.

A l'issue de ce travail, il apparaît incontournable de prendre en compte le type de conduite technique pour évaluer le risque d'érosion en bananeraie établie.

En prolongement de ces travaux, il est prévu d'évaluer l'intérêt, en termes de limitation du ruissellement et de l'érosion d'une conduite des bananeraies en association avec une couverture vivante permanente (ceci aussi dans un objectif de limitation de l'usage des herbicides).

5. Bibliographie

- Cattan P., Ruy S., Cabidoche Y.-M., Findeling A., Desbois P., Charlier J.-B., 2009. Effect on runoff of rainfall redistribution by the impluvium-shaped canopy of banana cultivated on an Andosol with a high infiltration rate. *Journal of Hydrology*, 368 : 251-261.
- Khamsouk B. 2001. Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de cultures bananières sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas du sol brun rouille à Halloysite). 219 p. Thèse Dr : Science du sol : ENSAM.

- **Roose E., Khamsouk B., Lassoudiere A. et Dorel M., 1999.** Origine du ruissellement et de l'érosion sur sols bruns à halloysite de Martinique. Premières observations sous bananiers. *Bulletin Réseau Erosion*, 19, 139-147.
- **Rishirumhirwa, T., 1993.** Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation des sols ferrallitiques du Burundi. Cah. ORSTOM., Pédol., 28, 2 : 367-383.

EFFETS DE L'ÉLEVAGE SUR LES RISQUES D'ÉROSION EN COLOMBIE

Hermelin M., Aristazabal A.F.

U.EAFIT, Medellin, Colombie, courriel: hermelin@eafit.edu.co

Résumé : L'introduction des bovins dans les Andes colombiennes a été une des causes de la destruction des forêts, mais aussi de l'invasion des Paramos qui se développent à partir de 3500 m dans les régions humides. L'apparition de «terrassettes» formées par piétinement entraîne un déplacement du sol et son tassement, donc une augmentation du ruissellement et éventuellement des glissements de terrain. L'étude préliminaire présentée ici a eu lieu dans les environs de Medellin (6° 30 N latitude) entre 1800 et 2500 m d'altitude, sous un climat humide et sur des sols acides dérivés de cendres volcaniques dacitiques et de roches cristallines. Après le choix des sites, les mesures sur le terrain ont été réalisées à l'aide d'une tige métallique munie d'un niveau et d'un distanciomètre. Les échantillons choisis ont été analysés quant à leur matière organique, leur humidité et leur densité. Les pentes à partir desquelles apparaissent les terrassettes vont de 22.5° à 46°. Des différences significatives ont été observées sur les densités, de 0.61 à 0.78 g cm⁻³, ces dernières d'échantillons ayant été prélevés sur les zones tassées par le cheminement du bétail, dont les pattes produisent une pression calculée entre 4.0 et 6.5 kg cm⁻². Le travail préliminaire devrait être complété par des études plus systématiques tenant compte du temps d'occupations des sols, des méthodes d'exploitation et de la nature des roches sous jacentes. De plus les régions sèches doivent être étudiées en détail, car les processus peuvent y devenir plus prononcés.

Mots clés : Colombie, érosion, élevage, pente, pied de vache

Abstract

The implantation of cows in the Colombian Andes have caused the destruction of forest but also the invasion of Paramos, which occur at altitudes of more than 3500 m in humid regions. The occurrence of "terrassettes" formed by cattle trampling causes a down slope displacement of soil and its compaction, thus an increase of runoff and a possible evolution toward land sliding. The preliminary results presented here were obtained around Medellin (6° 30 N latitude) at altitudes between 1800 and 2500 m a s l, with a humid climate and on soils derived from dacitic volcanic ashes and weathered crystalline rocks. Once the sites were selected, ground measurements were carried out with a metallic rod equipped with a level and with a distance meter. Samples were analyzed in laboratory for organic matter, water content and density. "Terrassettes" were observed in slopes from 22.5° to 46°. Significant differences were observed in densities, from 0.61 to 0.78, the latter in areas compacted by cattle sabot, which apply a pressure calculated between 4.0 and 6.5 kg cm⁻². This preliminary paper should be completed by more systematic studies including grazing procedures and the composition of underlying rocks. Furthermore dry regions should be studied in detail as processes may there become more important.

Keywords : Columbia, erosion, breeding, slope, cattle tracks

INTRODUCTION

Les animaux domestiques qui peuplent maintenant les Andes et les terres basses d'Amérique Latine, vinrent d'Europe dans les bateaux des Espagnols et des Portugais dès la fin du XV siècle et ont proliféré depuis cette époque. Le cheval, symbole du pouvoir militaire des conquérants, mais surtout des bovins, paissent maintenant dans tout le continent sud américain, ainsi que les moutons et les chèvres moins répandues.

Cette implantation a amené un bouleversement total des pratiques agricoles indigènes (Usselman, 1987) ; dans beaucoup de cas les Européens s'approprièrent des meilleures terres pour y bâtir leurs villes, mais surtout pour y établir les pâturages réservés aux grands propriétaires terriens. Les populations indiennes furent repoussées vers les pentes et l'exploitation agricole intensive de terrains inappropriés provoqua, dans certaines régions, des phénomènes d'érosion des sols et quelquefois leur complète destruction.

La forte diminution de la population indienne, bien documentée par les historiens (Colmenares, 1975), amena un abandon de grandes zones de cultures traditionnelles qui furent en partie remplacées par l'élevage extensif. Celui-ci augmenta à partir du milieu du XIX siècle, à cause de la nouvelle croissance de la population et de la demande de nouvelles terres, qui provoqua le défrichement de grandes étendues de forêt, particulièrement sur les pentes des cordillères : ce processus continue encore aujourd'hui (Khobzi et al., 1978 ; Parsons, 1988).

Les conséquences de l'introduction du bétail et tout particulièrement du bétail bovin sont nombreuses:

- sur les pentes mais aussi dans les plaines, la destruction de la forêt originelle amène la suppression de la fourniture de matière organique et d'engrais naturels à la surface du sol; un changement très net du cycle hydrologique et une diminution de la capture de gaz carbonique de l'atmosphère par photosynthèse, entre autres.
- dans les Páramos, formations végétales beaucoup plus susceptibles à cause de la lenteur de la croissance des plantes et de l'accumulation de matière organique dans les sols, les mêmes conséquences peuvent être observées.

Une des premières manifestations du surpâturage est l'apparition de terrassettes ou pieds de vache (cattle tracks, caminos de ganado) qui ont été décrits sous les tropiques par de nombreux auteurs (Khobzi et al., 1978 ; Moeyerson, 1989/1990 ; Poulemard et al., 1996 ; Aristizabal & Hermelin, 2008). La formation de ces terrassettes entraîne un tassement du sol sous la zone de piétinement, un déplacement du sol par glissement et surtout une modification de la capacité d'infiltration de l'eau. Cela peut provoquer un ruissellement plus ou moins diffus et la perte quelquefois totale des horizons supérieurs. (Fig.1).

Les travaux réalisés jusqu'à maintenant en Colombie sont basés sur la télédétection, soit sur des photos aériennes (Khobzi et al., 1978, Malagón et al., 1995) soit sur des Images satellitaires (IDEAM, 2008). Les comparaisons entre les différents travaux donnent quelquefois des résultats très différents (Leon Sicard, 2009).

Les études régionales des sols (par exemple Gobernación de Antioquia & IGAC, 2008) décrivent pour chacune des unités pédologiques les phénomènes érosifs associés, mais ne présentent aucune synthèse relative à l'érosion elle-même.

Ce travail préliminaire a consisté à identifier dans certaines terres hautes de la Cordillère Centrale de Colombie quelques caractéristiques des terrassettes produites par le bétail bovin.

Aspects régionaux

L'étude se situe aux alentours de Medellín, département d'Antioquia, aux environs de 6°30' de latitude nord et 75° 30' de latitude ouest, à des altitudes entre 1800 et 2500m. La vallée de Medellín, probablement d'origine tectonique, est encaissée entre des hauts plateaux peu incisés situés entre 2000 et 2600m d'altitudes et des versants dont les sommets atteignent 3050m (Fig. 3). Les roches sous-jacentes sont des gneiss et des amphibolites, principalement paléozoïques, et des quartz-diorites crétacées, généralement transformées en altérites, recouvertes en partie par des cendres volcaniques andésitiques quaternaires (probablement holocènes) (Gonzalez, 1996; Toro & Hermelin, 1993).

Le climat est humide et correspond, selon la nomenclature de Holdridge (Espinal & Montenegro, 1977), à la forêt humide, dont les températures moyennes varient de 12 à 24°C et les pluies annuelles ont des moyennes comprises entre 1700 et 2100 mm. Les sols, qu'ils soient ou non dérivés de cendres volcaniques, sont acides, non saturés et possèdent en général un horizon organique épais, qui diminue progressivement par érosion mais aussi par oxydation en contact avec l'atmosphère (IGAC, 1982). Le défrichement de la région a commencé vers la fin du XVIII siècle, mais il a été impossible d'établir des dates plus précises pour l'implantation de chacun des pâturages étudiés.

Méthode

Le but de l'étude étant la détermination des caractéristiques des terrassettes formées par surpâturage, il fallu d'abord procéder à la sélection des sites ; celle-ci s'avéra délicate, car l'usage établi dans les Andes colombiennes consiste, immédiatement après l'écobuage, à semer soit du maïs soit des pommes de terre. La culture de ces dernières laisse des sillons plus ou moins parallèles qui doivent être distingués des "pieds de vache". Après deux ou au maximum trois récoltes, l'appauvrissement des sols en nutriments est tel que la surface défrichée doit être transformée en pâturage. Il est donc possible de confondre ces évidences ou de trouver des terrassettes d'origine bovine superposées aux sillons agricoles préalables. (Fig. 5).

Les sites furent choisis en fonction de leur proximité des voies de communication, mais surtout en tenant compte de la netteté avec laquelle on pouvait s'assurer d'une origine sans équivoque.

Les mesures se firent sur le terrain à l'aide d'une tige métallique graduée munie d'un niveau et d'un distanciomètre, (Fig 6). Les échantillons choisis furent analysés (matière organique, humidité et densité) dans les laboratoires de l'Université EAFIT.

Résultats

L'inclinaison des pentes à partir desquelles apparaissent les pieds de vache dans la région étudiée est de 22°5, valeur basée sur la tendance centrale de 43 mesures, et ceux-ci se situent entre 22° et 46° (56 mesures) (Fig. 7).

La pente transversale des terrassettes a donné une moyenne de 17° (273 mesures) et la pente longitudinale moyenne est de 5° (180 mesures). Le nombre de données est encore insuffisant pour déterminer s'il existe une différence significative due aux variations de la roche sous-jacente, bien que sur amphibolites et basaltes, les terrassettes semblent apparaître sur des pentes un peu plus fortes. Les mesures de densité faites sur échantillons secs donnent une moyenne de 0.78 g cm⁻³ pour ceux qui proviennent des "chemins" et 0.61 g cm⁻³ pour les autres. La pression effectuée sur le sol par les pattes du bétail a été calculée entre 4.0 et 6.5 kg cm⁻².

Discussion

Ce travail ne saurait être qu'une première approche servant à déterminer un paramètre pourtant crucial : la pente à partir de laquelle la détérioration des sols dédiés au pâturage devient apparente et peut rapidement se transformer en une série de phénomènes érosifs très destructifs. Cela ne signifie évidemment pas que les versants moins pentus échappent aux conséquences de ces activités, mais que celles-ci restent faibles, voire acceptables. Tout en étant encourageants, les résultats obtenus sont limités. Ils ne tiennent pas compte de variables comme le temps d'occupation des sols, l'intensité, les espèces implantées, ni de l'exploitation et ses méthodes (rotation de pâturages, engrais, etc.), bien que s'agissant d'élevage du type "extensif, ces variations semblent être relativement peu importantes.

Une étude plus complète va être entreprise, basée sur l'emploi de méthodes photogrammétriques qui devraient permettre l'obtention rapide et sûre de données plus nombreuses afin d'améliorer l'analyse statistique.

D'autre part ces travaux ne peuvent évidemment pas se limiter aux versants et aux collines humides. Les observations préalables faites sur les versants des dépressions sèches des cordillères montrent que le phénomène s'y présente d'une manière plus prononcée (Fig. 8) et peut dégénérer plus rapidement en système érosif généralisé (Fig.9).

L'un des instituts régionaux du département d'Antioquia chargé de la gestion l'environnement s'est intéressé aux résultats, ce qui permettra sans doute de continuer cette ligne de recherche, qui pourrait fournir des données très importantes pour réglementer l'usage des terrains d'une manière qui ressemble un peu plus au développement durable. L'apparition qui se généralise de modèles digitaux de terrain (DTM) devrait faciliter cette démarche. Les commentaires des experts seront les bienvenus.

Bibliographie

Aristizabal, A, F, & Hermelin, M., 2008. Los caminos de ganado en las tierras altas del departamento de Antioquia: una primera aproximación . *Boletín de Ciencias de la Tierra*, Universidad Nacional, Medellín , No 24 ; 55-71.

Colmenares, G., 173. Historia económica y social de Colombia, 1537-1719 Ed. La Carreta y Ed. La Oveja Negra, Medellín, 477p.

Espinal, L. S. & Montenegro, E., 1977. Mapa de formaciones vegetales de Colombia. Instituto Geográfico A. Codazzi, Bogotá, mapa 1:500 000, Bogotá.

González, H., 1996. Mapa geológico del departamento de Antioquia 1:400 000, Ingeominas, Bogotá.

IDEAM, 2008. Procesos dominantes de la degradación de suelos y tierra en Colombia. <http://www.ideam.gov.co/publica/index4.html>.

IGAC (Instituto Geográfico A.Codazzi), 1982. Mapa de suelos del Departamento de Antioquia, 1: 500 000 IGAC, Bogotá.

Khobzi, J., Lecarpentier, C., Oster, R. & Pérez, 1978. L'érosion en Colombie *Bull. Inst. Fr. Et. Andines*, v. 7, p. 23-37

Leon Sicard T., 2009, Relación agricultura-ambiente en la degradación de la tierra en Colombia

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/html/contenido.html>

Malagón, D.C., Pulido, R.C., Llinás, R. R. & Chamarro, B.C., 1995 Suelos de Colombia. IGAC, Bogotá, 632p.

Moeyerson, J., 1989/90. Les glissements de terrain au Rwanda occidental: leurs causes et les possibilités de leur prévention. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 25, 1-2 : 131-149.

Murgueitío, E., 2003. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativa de solución. *Livestock Research for Rural Development* V. 15 (10)

www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/10/cont1510.

Parsons, J.J., 1988. The scourge of cows, a special section on cultural geography. *Earth Review*, Whole Spring 1988, 10p.

Poulemard, J., Decroix, L. & Janeau, J.L., 1996. Surpâturage et formation de terrassettes sur les versants de la Sierra Madre Occidentale (NW du Mexique).

Revue de Géomorphologie Alpine, 84, 84-2 : 77-86.

Toro, G.E. & Hermelin, M., 1993. Stratigraphy of volcanic ashes of south Antioquia, Colombia. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, v.8.:120-217.

Usselman, P., 1987. Un acercamiento a las modificaciones del medio físico latinoamericano durante la colonización. *Bull. Inst. Fr. Et. Andines*, 26 : 127-135.

LEYENDA DE LAS FIGURAS, Hermelin

Fig 1.Vue aérienne presque verticale d'un pâturage dans la région de Sta. Rosa de Osos, 150 km au nord de Medellín, altitude 2600m (le bétail, coin supérieur à droite, donne l'échelle)



Fig 2.Carte de la localisation de la région étudiée.

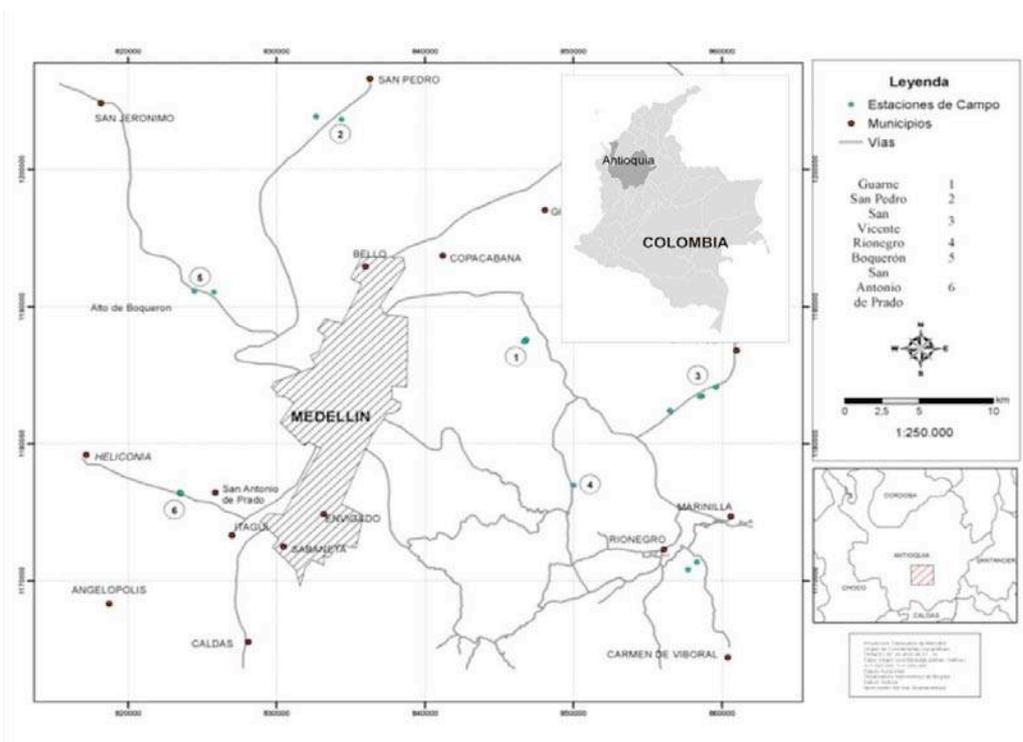


Fig 3. Unités géomorphologiques principales

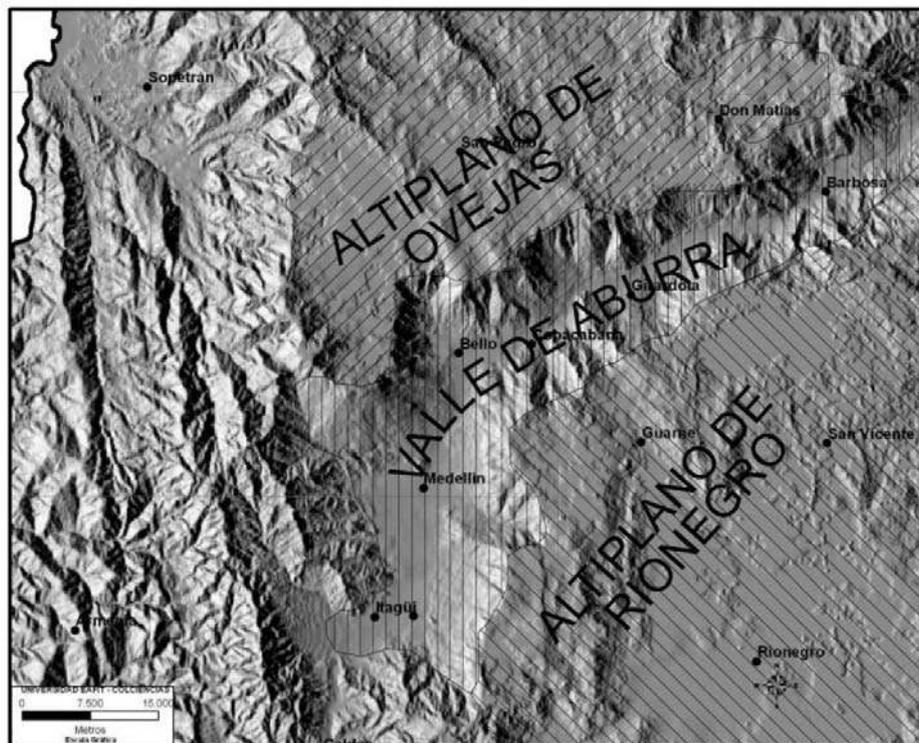


Fig 4. Carte géologique régionale

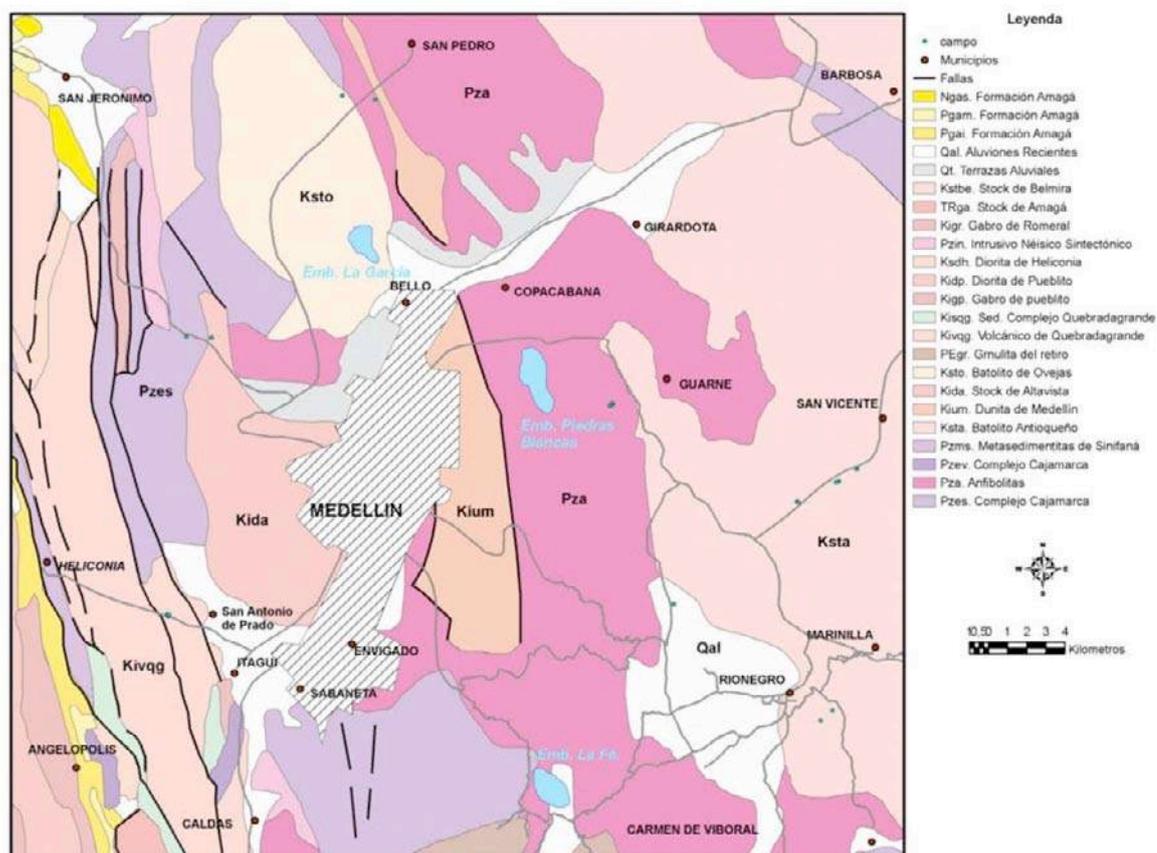


Fig 5. Pieds de vache superposés à d'anciens sillons pour culture de pommes de terre (Boquerón, 5 km au NW de Medellín).



Fig 6. Méthode employée pour la mesure des profils.

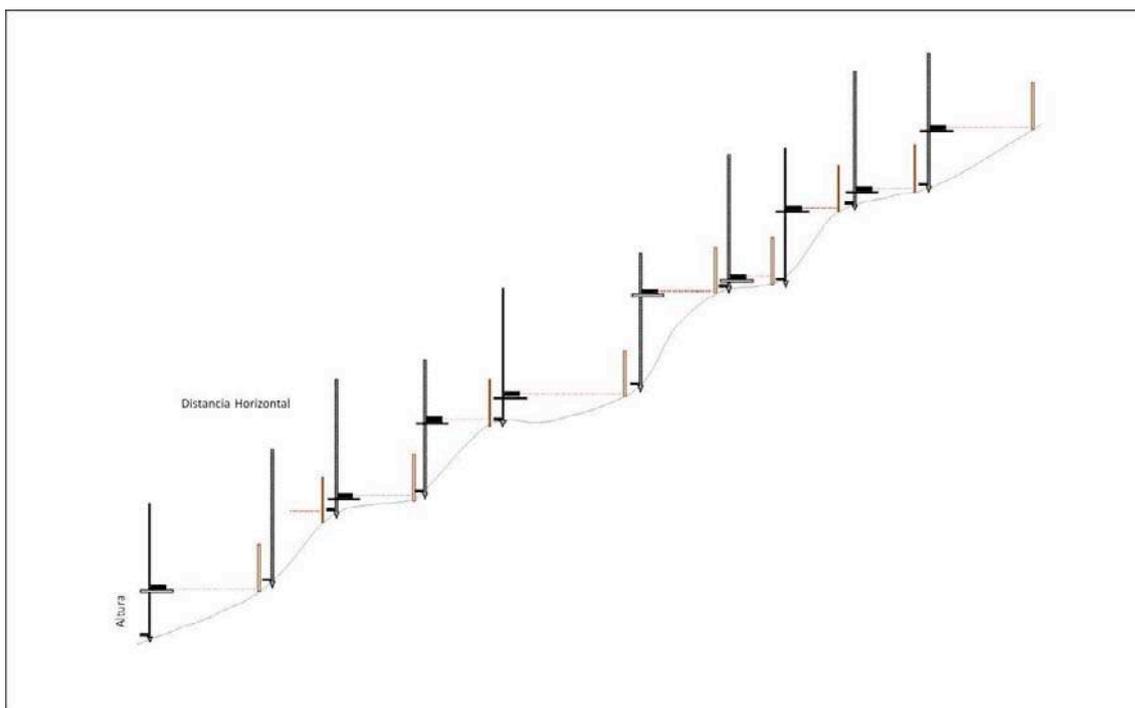


Fig 7.Distribution des pentes où l'on observe des terrassettes.

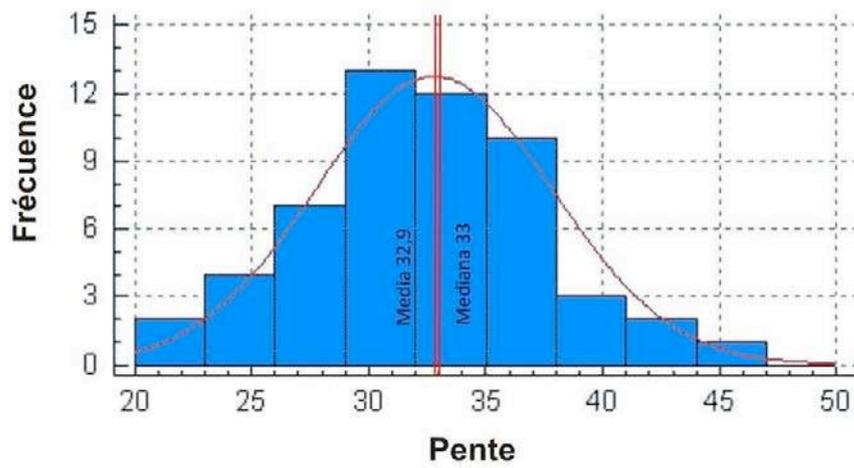


Fig 8.Profil à Sta Fé de Antioquia, 100 km à l'ouest de Medellin, altitude 600m, pluie annuelle >1000mm (dépression sèche)



Fig 9.Évolution des terrassettes vers l'érosion généralisée et les mouvements de masse, Sta Fé de Antioquia



LES CULTURES ASSOCIEES TRADITIONNELLES MULTISTRATIFIEES

Une technique biophysique empirique d'exploitation écologique et de protection de l'environnement (Montagnes de l'Ouest Cameroun).

Valet S.

Consultant. PASSERELLES, 9, rue du Bât d'Argent, 69001, Lyon France ; valet.serge2@wanadoo.fr.

Résumé

Les cultures associées multi stratifiées et en relais qui incluent les haies et l'agroforesterie sont pratiquées sur tous les continents en toutes conditions pédoclimatiques et géomorphologiques. Les paysans augmentent le nombre et la densité des espèces du climat tempéré/sahélien (P=500mm) au climat équatorial (P=2000mm) en fonction de la fertilité des sols et de la géomorphologie. Ces associations constituent des mailles unitaires agro bio physiques qui ont été conceptualisées empiriquement à différentes échelles : disposition ordonnée ou non sur billon ; variation qualitative et quantitative des espèces en fonction de la qualité des sols des paysages agro géologiques. Cet assemblage offre un ensemble de services écologiques : biologiques, physiques, hydriques et nutritionnels complexes qui renforcent l'aggradation des sols. Il réduit naturellement le risque d'érosion et du stress hydrique, économise les intrants, assure la biodiversité et les besoins divers familiaux dont la nutrition et les revenus supérieurs à ceux des systèmes mono, bi et tri spécifiques. Il reste à concevoir le « *mariage symbiotique* » **des savoirs empiriques paysans** logiques et stratégiques des paysan(ne)s et « **des savoirs savants** » analytiques et prédictifs des scientifiques pour une agronomie écologique, soutenue, compétitive évoluant avec celle des contraintes socio-éco-climatiques.

Mots-clés : *Systèmes traditionnels innovants, associations culturelles, biodiversité, service antiérosifs, aggradation des sols, Cameroun.*

Abstract

The multi specific and multi stratified mixed cropping which include the agroforestry and the quick hedges are practiced on large surfaces in the world according to every pedo-climatic and geomorphologic conditions. The paysants increase the species number and the density from temperate/Sahelian (R=500mm) to tropical climate (R=2000mm) according to the soil fertility and geomorphology. These mixed cropping form agro-biophysical unitarian stitches which are thought empirically at different scales: mixed or inter dispositions, species qualified and quantified variation according to soil quality in the different agro geological landscapes. These associations offer a quantity of complex ecological services: biological, hydric, nutritional... It is necessary to conceive a symbiotical links between the logical and strategical "*paysant empirical knowledge*" with the analytical and predictif "*scientist knowledge*" for an ecological, sustainable, and competitive agriculture which evolve with the evolving of the socio-economist constraints.

Keywords: *Traditional innovating mixed/inter cropping, biodiversity, multiple services, soil aggradation, erosion struggle, Cameroon.*

I. Problématique

Les cultures associées traditionnelles recouvrent toujours de grandes surfaces dans le monde et sont pratiquées par plus d'un milliard de paysans, du sahel aux forêts tropicales (Hecq, 1958 ; Baldy, 1963 ; Hénin, 1962; Valet, 1966 et 1970 ; Mazoyer, 1972 ; Mbomda, 1985 ; Dupriez et de Leener, 2003). Les espèces et variétés cultivées, de même que leur nombre, varient avec la latitude mais aussi avec l'altitude, de même qu'avec les habitudes alimentaires traduisant l'adaptation aux potentialités multiples des écosystèmes (Valet, 1966 et 2004; de Ravignan, 1969 ; Dupriez, 1980a). Elles ont été longtemps considérées comme primitives et irrationnelles par les agronomes (Hurault, 1962). L'échec de la révolution verte qui a été longtemps prônée comme la " *technique perfectionnée, la seule existant dans les agricultures modernes, la seule permettant la mécanisation que tôt ou tard les populations seront amenées à adopter* " (Tardieu, 1970) a été reconnu (Fotsing, 1993 ; Roose et al., 1993 ; Valet, 1999 ; Malezieu et al, 2009). M. Griffon (Lettre d'Information du CIRAD, N°22, octobre 2007) a déclaré « *Les agronomes ont été formés pour éradiquer les écosystèmes pour créer un système artificiel, simplifié et forcé par l'introduction d'une grande quantité d'engrais et de pesticides* », mais « *nous devons plancher actuellement sur l'intensification écologique* » en tablant sur les processus écologiques mis naturellement à disposition par les écosystèmes pour produire plus. Cette approche qui va de pair avec la préservation de l'environnement permettra de réduire les nuisances, de mieux valoriser les ressources rares comme l'eau et les sols ou encore de contribuer à la conservation de la biodiversité afin de reconstituer les services écologiques que l'agriculture peut rendre à la société face au changement climatique, démographique et à la « *mondialisation* » (Valet, 2007 ; Dupriez, 2006). Malézieu et al. (2009) proposent dans leur synthèse d'analyser les paramètres de la diversité fonctionnelle des écosystèmes cultivés pour l'optimisation des ressources, la diminution des risques, la stabilité et la résilience des écosystèmes. Le regain d'intérêt pour les cultures associées est du aussi à la limitation des risques d'érosion par une bonne couverture du sol et par simplification des travaux culturaux et de pollution par les fortes réductions d'intrants (azote, fongicides, herbicides) enregistrées ces dernières années. Ces cultures ont été très peu étudiées jusqu'à ce jour.

Nous présentons quelques exemples mais surtout les résultats de la région des plateaux et montagnes de l'Ouest Cameroun qui offrent le meilleur exemple de cultures associées multi stratifiées et en relais car le plus complexe et le plus complet conceptualisé empiriquement par des paysan(ne)s illettrés depuis plusieurs siècles.

2. Les cultures associées

2.1. Stratégie paysanne

La logique des prises de décision agricole concernant ces associations agro forestières conjugue les impératifs alimentaires (autosuffisance, qualité organoleptique, conservation et étalement des récoltes), économiques (cours, revenu et capitalisation) et les contraintes du milieu (roches, sols, climat et géomorphologie) (Valet, 1967). Mais dès qu'un impératif issu de ces trois ordres est limitant, toutes les situations d'associations sont envisageables même celles les plus contraires aux exigences culturales édaphiques sauf environnementales si possibles (Kleitz, 1988). Le paysan cherche à minimiser les risques climatiques et économiques avant même l'obtention de rendement maximum.

2.2. Modèles

Mixed cropping ; Intercropping ou alley cropping ; Sequential cropping ; Agroforestry.

3. Variabilité des cultures associées

3.1. Cultures multi spécifiques : structure multi échelle

1- France : Climat tempéré :

A- Association des variétés 2 à 2 : avoine, orge, seigle, vesce, luzerne, blé dur/tendre, colza, vigne et verger-prairie (Hénin, 1969). L'agroforesterie regroupe 5 techniques (haie, culture boisée, pré boisé, bois pâturé, arbre fourrager) et 5 types d'arbres (chênes, peuplier, feuillus, pins, épicéa et mélèze) sur toutes les grandes zones géo-climatiques (plaine ou colline méditerranéenne et tempérée, montagne) (Etienne and Rapey, 1999).

B- Haie vive : Les haies comprennent plus de 30 espèces formant l'essentiel (brise-vent, bois à usage divers, clôture de champs) mais récemment l'évolution des pratiques agraires les détournent souvent vers d'autres objectifs (BRF) (Luginbühl, 1995).

C- Parc arboré : Depuis 2002, le retour des arbres dans les parcelles agricoles est encore possible, souhaitable, mais aussi réaliste (Dupraz et Liagre, 2008). En Charente, parcelles de merisier et noyers (70 arbres/ha) associés à une rotation de blé/sarrasin/tournesol ; noyers et colza ou blé dur. Les plantations agro forestières, (100 à 160 arbres par hectare) en parc ou en haie, sont raisonnées en fonction de la position sur le versant, des besoins agricoles et des conditions pédoclimatiques (Haeggström, 1998) Par ex. : Peuplier (160 tiges/ha) en ligne et blé dur/tendre, colza et vigne entre les lignes.

2- Sénégal : Climat sahélien : mil-arachide et mil-sorgho de cycles différents semés avec décalage et dans un parc arboré à *Faidherbia* ; ananas-papaye (Baldy and Stiger, 1993).

3- Lesotho : Abandon récent des monocultures au profit de la pratique du « système *Machobane* » qui associe sept plantes (Le Courrier, 2002).

4- Bénin : Climat soudanien : sorgho tardif, manioc, mil hâtif, maïs, gombo, courges, riz, patate douce, voandzou, piments, igname, haricot et arachide cultivés en association de 3 à 5 plantes par parcelle (Bokonon Ganta, 1991).

5- Sulawesi : Maïs, patate douce, arachide et *Mucuna pruriens*, (Schlosser et al., 2003).

6- Côte d'Ivoire : Climat sub-équatorial à 2 saisons des pluies : poivre-ananas/arbre, poivre- banane, café sous ombrage, prairie sous palmier à huile.

7- Congo : Climat équatorial : Pays Bashi : maïs, sorgho, manioc, patates, patates douces, haricots, macabo, arachide (Hecq, 1958).

- Cameroun : Climat équatorial de mousson à une saison des pluies :

A- Zone tropicale de plaine où seules les plantes tropicales peuvent pousser sur des sols uniformément de faible qualité, ce qui limite leur nombre dans l'association de 5 à 6 plantes (de Ravignan, 1969 ; Leplaideur, 1978).

B- Zone tropicale des hauts plateaux et montagnes où les microclimats favorisent la culture de plantes tempérées et d'altitude (Valet S., 1967ab & 1976). Située entre 1000 et 3100m d'altitude (de 9° à 11°E et entre 5° à 6°N) . Elle se caractérise par de nombreux microclimats, types de sols et géomorphologies qui déterminent des paysages agro-géologiques contrastés (Valet, 1985). Ceci explique la richesse particulière et variable de ses agro(éco)systèmes.

3.2. Typologie

Le système multi-stratifié utilisé par les paysans comprend environ 46 espèces :

Etage arboré : 11 (colatier, safoutier, avocatiers, palmier raphia, banane douce et plantain...)

Etage arbustif : 5 (café, Ndolé, piment, goyavier, et manioc) ;

Etage bas : 29 : 16 plantes maraîchères (gombo, tomate, épinard, choux, oignons, etc...), 2 céréales (maïs et canne à sucre), 5 légumineuses, 5 tubercules ; 2 fruits (ananas, melon).

Presque chaque espèce est représentée par plusieurs variétés (de 2 à 6) de cycle de longueur, de rendement différents et d'usages (alimentaires, commerciaux, sociaux). Les variétés locales, moins performantes, sont plus résistantes et se conservent mieux (Kleitz, 1988). Les semis sont réalisés en première saison culturale dès mars et en seconde fin août début septembre assurant assolement et rotation. Après défrichage l'association est dominée par les tubercules ou l'arachide. La durée de culture (3 à 10 ans) avant mise en jachères courtes (1 à 2 ans) est raisonnée selon la fertilité (naturelle et ajoutée) et son épuisement. L'érosion même pour les billons dans le sens de la pente est très réduite, alors qu'en mono-culture ou bi spécifique intensifiée elle démarre violemment dès le semis (Valet, 1999). Ces associations constituent des mailles unitaires agro-biophysiques qui ont été conceptualisées empiriquement à différentes échelles (billon, champ, bassin versant).

A- A l'échelle du billon : la disposition des pieds, ordonnée ou en désordre, tient compte de leur taille respective et leur concurrence, principalement pour la lumière et l'eau (Fig.1).

Disposition des cultures principales :

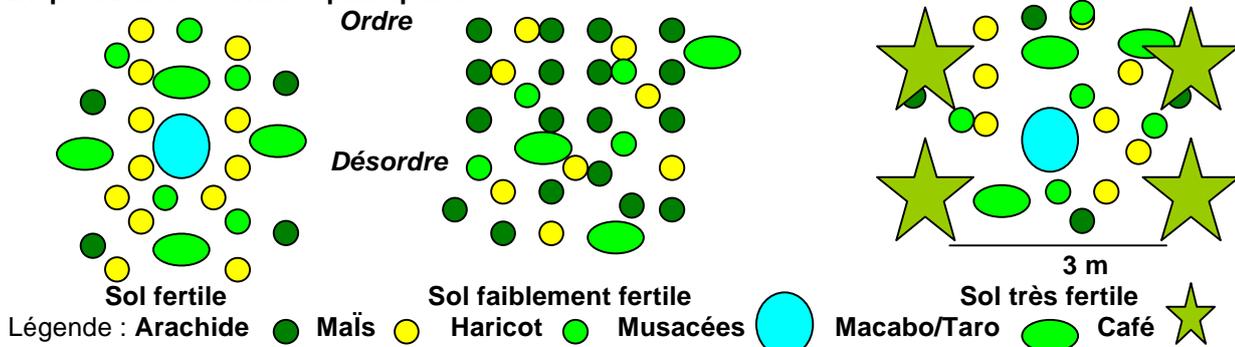


Figure 1- Disposition sur le billon des plantes dominantes.

Baucoup d'autres arrangements sont utilisés compte tenu du nombre élevé d'espèces et de variétés. Certaines ignames ne sont cultivées que par les femmes des chefs ou le voandzou par les femmes mariées (Hurault, 1962).

B- A l'échelle du champ : Les paysans font varier qualitativement et quantitativement le nombre et la densité (IOS) des espèces vivrières, hors les arbres, entre les champs mais aussi entre les deux régions de l'Ouest (Valet, 1976). Les IOS croissent de 1,04 à 2,91 en pays Bamiléké pour 6 à 13 espèces et en pays Bamoun de 1,44 à 2,70 pour 10 à 13 espèces (Tableau 1). Autfray (1985) et Kleitz (1988) ont enregistré en région Bamiléké à

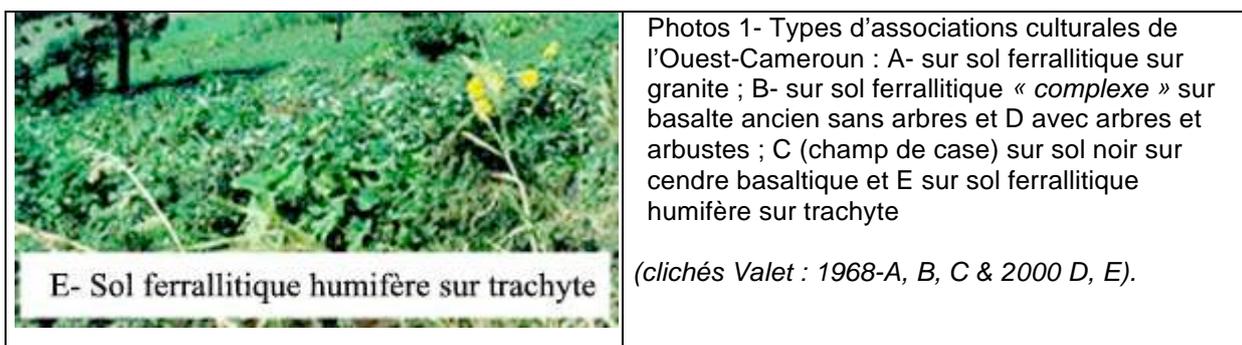
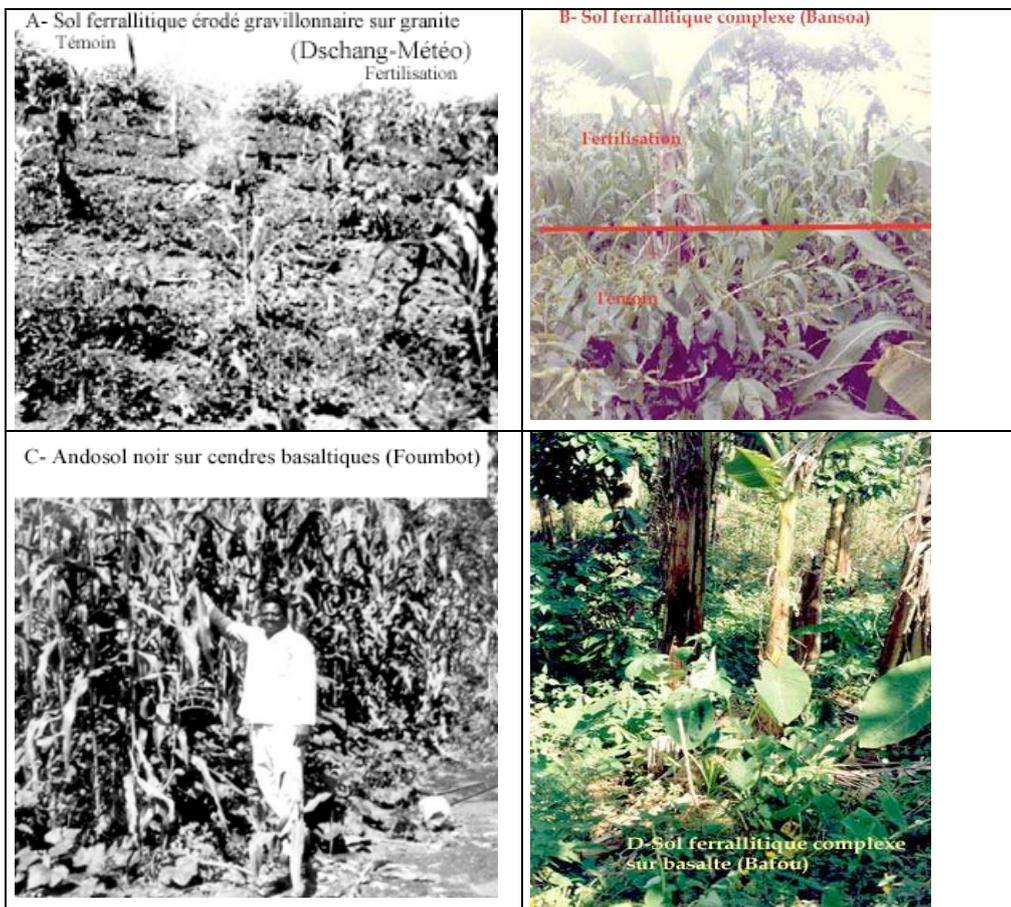
Tableau 1- Indice d'occupation du sol en régions Bamiléké et Bamoun (Valet, 1967a).

Régions	Bamiléké					Bamoun		
	Fotetsa	Dschang	Fotetsa	Bafou	Bansoa	Fosset	Kouoptamo	Foumbot
Lieux								
Position	Haut de versant		Bas		Plan		Plan	
Nbre espèces	6	11	10	13	8	13	10	11
Total IOS*	1,31	1,04	2,89	2,91	2,70	1,74	1,69	1,44
Climat	Pluie=1900mm T°C= 20,3, Insolation=1680h					P=1650mm, T°C= 22 Ins=2400h		

* Indice d'Occupation du Sol= densité de la 1^{ère} culture en association/densité de la monoculture + densité de la 2^{ème} culture en association/densité de la monoculture + etc...

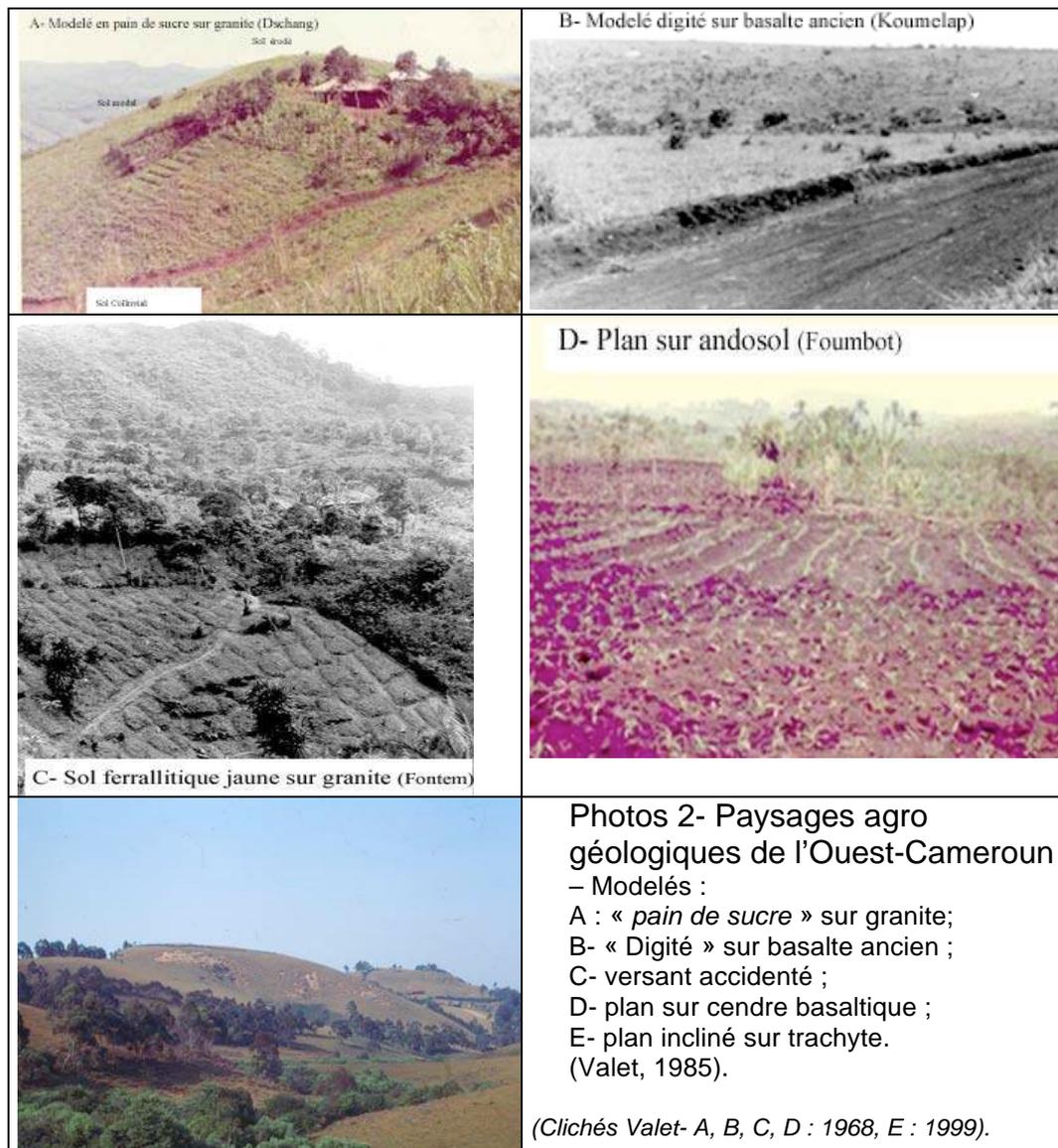
(Bafou) des IOS qui variaient de 0,8 à 9, arbres et arbustes compris (50 à 250 par hectare -Fotsing, 1993), avec une valeur moyenne de 3,2, une médiane de 2 et un quartile faible de 1,1. En plaine (Centre Sud) de Ravignan (1969) a trouvé un IOS moyen de 1,49 avec 6 espèces maximum. Alors qu'en d'autres zones tropicales les associations

se limitent à 5 ou 6 espèces avec des arbres (Hecq, 1958 ; de Ravignan, 1969 ; Leplaideur, 1970 ; Dupriez, 1980b ; Rishirumuhirwa, 1993). Les photos 2-ABCDE soulignent bien la variabilité des associations selon les conditions pédoclimatiques.



C- A l'échelle du Bassin Versant unitaire ou écorégions :

Trois systèmes agricoles traditionnels dominants, jachère vs pâturage (PA+JA), Cultures associées vivrières évolutives (CV) et cultures associées vivrières évolutives plus café (CV+Café) sont implantés selon les conditions pédoclimatiques et démographiques (Fig. 5 & photo 2-ABCDE). Auxquels il faut ajouter le maraîchage irrigué pratiqué soit dans les thalwegs à côté ou à la place des raphiaies soit en grande parcelle en altitude (>1800m).



On observe une bonne corrélation entre les formes géomorphologiques, le substratum géologique et les sols (Valet, 1985). Les paysans ont su adapter leurs systèmes agricoles traditionnels enrichis de plantes introduites comme le café, le maraîchage à chaque paysage agro-géologique (Fig. 5). La répartition des systèmes, en %, est étroitement dépendante de celle de la fertilité des sols des versants et de l'importance du ruissellement qui est bien représentées par le degré de déclivité des pentes (Fig. 6). Le pourcentage de prairie et jachère (PA+JA) diminue du haut au bas de versant mais aussi des bassins les plus élevées aux plus bas alors que les surfaces des cultures vivrières avec (CV+Caf) et sans café (CV) augmentent proportionnellement. Les surfaces des cultures vivrières avec café sont plus étendues à même altitude sur le basalte que sur le granite à mi et bas versant.

Paysages agro-géologiques sur

1- granite (1200m) 2- basalte (1400m) 3- basalte (1600m) 4- trachytique (>1800m)

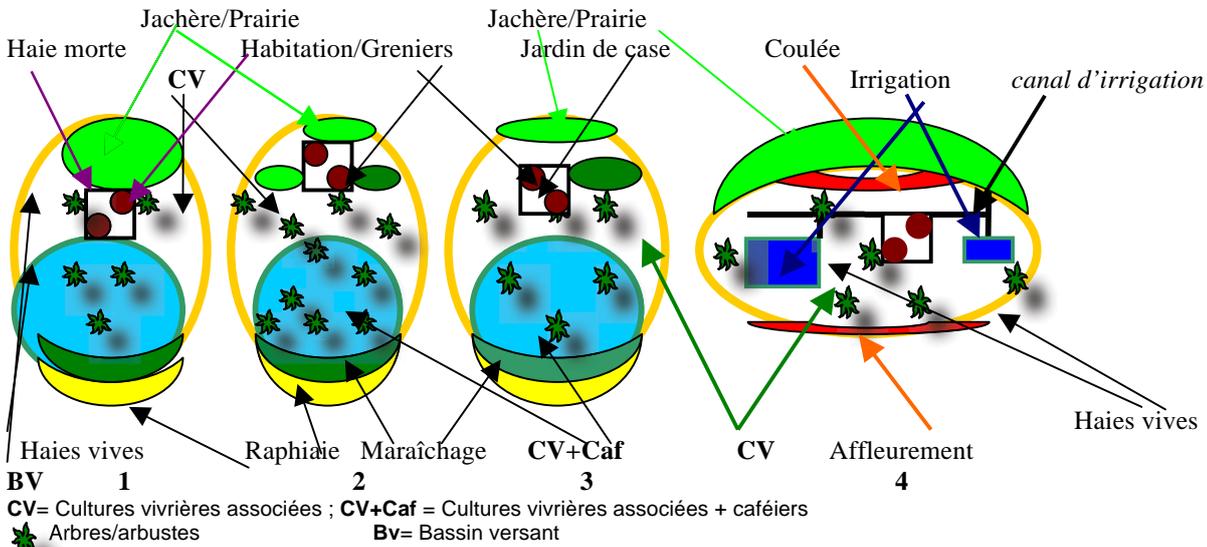


Figure 5– Schéma de la répartition des types de systèmes agricoles traditionnels et innovants en fonction des paysages agro-géologiques.

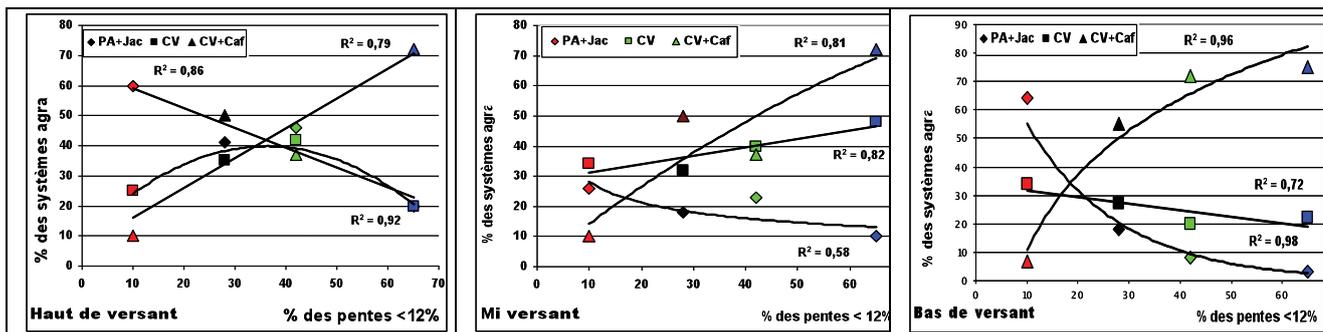


Figure 6- Corrélations entre la répartition des pentes $\leq 12\%$ et les systèmes de cultures selon la fertilité des paysages agro-géologiques : A : haut de versant ; B : mi versant et C : bas de versant. De gauche à droite : Rouge : >2000m, trachytes et roches acides ; Noir : 1600-2000m, Basalte ; Vert : 1400-16000m, Granite ; Bleu : 1400-1600m, Basalte. (Valet, 1985).

3.3. Facteurs discriminants de la variabilité des associations culturelles

3.3.1. La géomorphologie

57% des superficies s'étagent de 1040 à 1520m d'altitude et 10% de 1520 à 2500m. La morphogénèse commandée ainsi par la tectonique, le climat, la nature pétrographique et chimique des roches et leur ancienneté de mise en place est à l'origine des nombreux géofaciès ou « *portion d'espace physionomiquement homogène* » où les facteurs de l'environnement sont dynamiquement liés entre eux (Valet, 1980). Ces géofaciès s'individualisent en autant de bassin versant englobant un type de réseau hydrologique spécifique. Ces bassins versants forment des « *paysages agro-géologiques* » (photos 2-ABCDE). A l'intérieur desquels il est possible de caractériser des « *strates homogènes* » ou écosystèmes (Tableau 2).

Tableau 2- Zonation écologique, extension et caractérisation morphopédoclimatique des sites étudiés (Valet, 1967 & 1968, 1980).

Provinces géoclimatiques & Zones homoclimatiques	Paysages physiographiques	Strates homogènes à sols	Alt. en m	Pluie moy. An.	Tc° moy. An.	Aires en %
I-b- chaude et pluvieuse, d- pluvieuse, douce a- pluvieuse et chaude	Plateau	brun (Basalte) id jaune (Granite)	650 à 800	2600	27.5	2.8
IIId- Douce, relativement sèche	Vallons Bas fond Pain de sucre	ferrallitique complexe id hydromorphe (Cendres) ferrallitique rouges (Granite)	1400 1350 1450	1894 id id	20.2	19
IIIb- Très chaude, très ensoleillée	Plateau Digitation Maille hexagonale Bas de versant	Sol noir (Cendre, lapillis) Ferral. rouges (Basalte) Idem (Gneiss) Sols bruns colluv. (Granite)	1200 1100 1150	1674 id 1620	21.7	1,2 37
IIIe- Très fraîche, brumeuse	Plateau	Ferrallitique rouges très humifère (Trachyte)	1600	2400	19.6	1
IV- Climat varié	Versant	Pente >50%	-	-	-	39

3.3.2. La fertilité du sol

Les paysans augmentent fortement l'IOS total avec la fertilité actuelle du sol en zone Bamiléké et en zone Bamoun pour des sites choisis. En pays Bamoun les IOS restent inférieurs à 2 malgré une somme des cations échangeables supérieure du double de celle de la région Bamiléké (Fig. 7). Les paysans augmentent inversement les densités de l'arachide et du maïs en fonction de la fertilité du sol (Somme des cations ou C‰) (Fig.8).

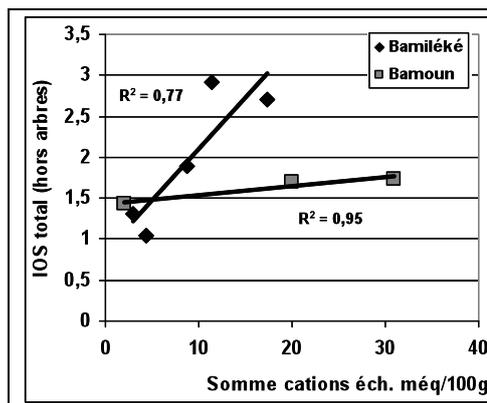


Figure 7- Relation entre l'IOS total et la fertilité actuelle des sols (somme des cations échangeables en m.ég/100g) en régions Bamiléké (Be) et Bamoun (Bm) en 1967.

(Whole SOR versus actual soil fertility (sum of exch. Cations) of Bamileke (Be) and Bamoun (Bm) regions in 1967).

L'affinité maïs-haricot a été confirmée par Autfray (1995) et Kleitz (1988) qui relèvent même une affinité arachide-haricot. Par contre la répulsion maïs-arachide n'a pas été notée par ces auteurs qui ne signalent qu'une répulsion de l'arachide avec les arbres, musacées, café, taro et macabo. Ce type de répulsion existe entre le Maïs et le Soja (Valet, 1999 & 2007). Cet antagonisme s'expliquerait vraisemblablement par la concurrence pour la lumière et la photosynthèse plus effective en pays Bamiléké que Bamoun (Clark et Francis, 1985). L'IOS des phaseolus augmente avec celui des maïs mais plus faiblement. Ceci est dû à l'effet symbiotique entre le maïs et les phaseolus. Il a été vérifié que les légumineuses associées au maïs augmentent le nombre et le poids de leurs nodosités qui assurent un transfert d'azote vers ce dernier représentant une économie de fertilisant azoté (Thompson, 1970 ; Trenbath, 1976). Cette exploitation complémentaire du milieu pour la plupart des espèces a été dénommée « *phénomène d'annidation* » (Ludwig, 1950). Les paysan(ne)s augmentent les IOS des tubercules avec la fertilité des sols dans les deux régions. La typologie des associations repose sur le couple antagoniste maïs-arachide et non sur l'arachide seule comme pivot écologique et

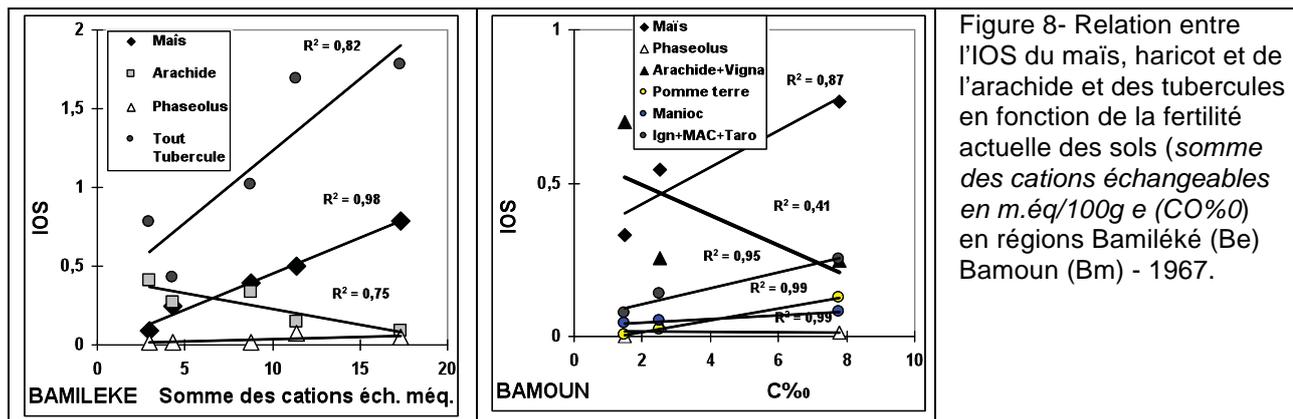


Figure 8- Relation entre l'IOS du maïs, haricot et de l'arachide et des tubercules en fonction de la fertilité actuelle des sols (somme des cations échangeables en m.éq/100g e (CO%0) en régions Bamiléké (Be) Bamoun (Bm) - 1967.

économique de tous les types d'associations comme le rapporte Kleitz (1988). D'autres sociétés ont comme pivot le taro ou le bananier (Dupriez, 1980b).

3.3.3. Effet de la fertilité du sol sur les rendements (LER)

Fertilisation minérale

Les essais de fertilisation conduits dans l'Ouest-Cameroun, de 1968 à 1972, sur l'association ternaire basique (Maïs, taro et macabo), montrent une corrélation positive entre les engrais minéraux et les rendements ou LER (Land Equivalent Ratio) (Fig. 9).

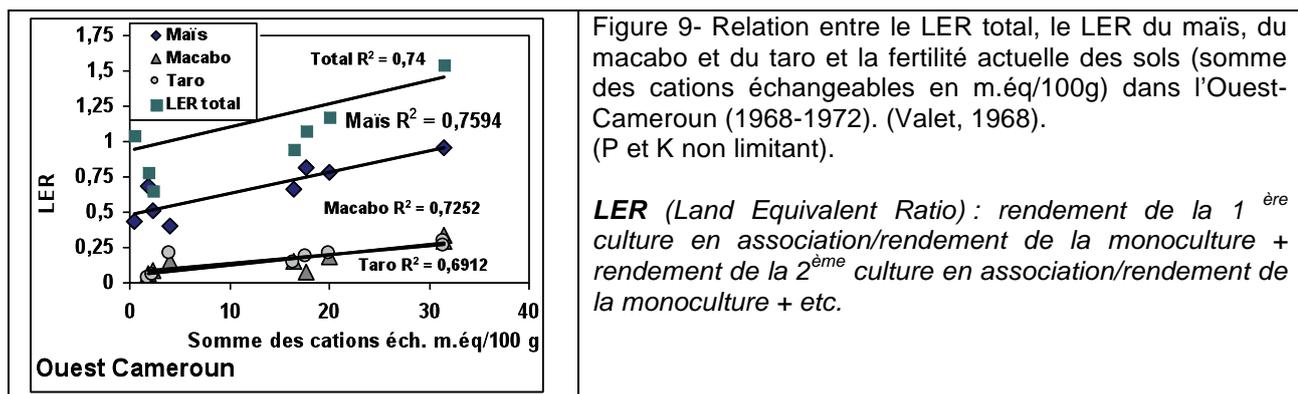


Figure 9- Relation entre le LER total, le LER du maïs, du macabo et du taro et la fertilité actuelle des sols (somme des cations échangeables en m.éq/100g) dans l'Ouest-Cameroun (1968-1972). (Valet, 1968). (P et K non limitant).

LER (Land Equivalent Ratio): rendement de la 1^{ère} culture en association/rendement de la monoculture + rendement de la 2^{ème} culture en association/rendement de la monoculture + etc.

Pour seulement trois plantes, les LER varient, déjà, de 0,9 à 1,55 alors qu'en milieu traditionnel avec un total de six à treize plantes les LER sont nettement plus élevés. La dose maximum d'urée utilisée pour obtenir ces rendements est de 20 à 50% inférieure à celle utilisée en monoculture pour des rendements maxima pas énormément supérieurs (Valet et Motélica, 2009).

Fertilisation organique

- Ecobuage

L'écobuage est couramment pratiqué de préférence en sol hydromorphe sur grosse butte tous les 5 ans. Cette technique libère brutalement beaucoup de P₂O₅ assimilable (Témoin = 30ppm contre 2030ppm P₂O₅ libérés) et de la potasse. Il maintient de plus l'azote dans le sol (Autfray, 1985). Il provoque une augmentation de 2,8 à 5,2 Tha⁻¹ (+79,5%) de maïs grain avec une dose de 200 unités ha⁻¹ de N (Valet et Motélica, 2009). Sur macabo blanc Schafer (1999) a obtenu une augmentation de 9,6 (±3,1) Tha⁻¹ à 12,6 (±4,7) Tha⁻¹ (+31,3%) en absence de fertilisation minérale complémentaire.

- Fumier (bovin porcin, caprin, de volailles)

A dose de nutriments égale à la fumure minérale, le fumier a un effet identique sur le rendement du maïs ; de plus il majore l'effet des apports de N (Urée) de +27,3% avec 200 U ha⁻¹ (Valet et Motélica, 2009).

- Jachère

Sous association culturale la forte production de biomasse et le maintien de la jachère assurent efficacement la restauration physique et chimique de la fertilité du sol. A Koumelap sur un sol ferrallitique rouge sur basalte ancien, la jachère a permis au sol de recouvrer une fertilité minérale et organique équivalente à l'enfouissement de stylosanthes, en cations nettement supérieure, en phosphore légèrement inférieur à un apport de 200 unités ha^{-1} de P_2O_5 et une stabilité structurale supérieure à la monoculture intensifiée sur 20-40cm (Valet, 1999).

3.3.4. Haies vives, haies mortes et parcs arborés

Les cultures associées multi spécifiques implantées dans des parcs arborés (arbres et arbustes divers) et entourées par des haies vives bénéficient d'abondants apports organiques (feuilles, brindilles, branches, racines, adventices, résidus de case) (Photo 1). Au Burundi, après 6 mois seulement, ces haies filtrent et retiennent 95% de la charge solide avec élimination du ruissellement (Duchaufour et al., 1996). De plus, ces haies permettent une amélioration de la fertilité et du rendement par remontée des nutriments et par la biomasse produite, 102 à 124kg ha^{-1} an^{-1} de N, 6 à 9kg ha^{-1} an^{-1} de P_2O_5 et 18kg ha^{-1} an^{-1} de K (Ndayzigiyiye, 1993) et par le piégeage aussi du CO (Roose, 2004). A la Réunion, sur fortes pentes une haie de *Calliandra calothyrsus* améliore l'état structural des Andosols très sensibles à l'érosion (Cattet, 1996). Dans l'Ouest Cameroun, Kalemba et Ndoki (1995) ont vérifié l'effet des BRF (Bois Raméaux Fragmentés de diamètre inférieur à 8cm), produit de l'émondage des haies et des arbres, sur l'amélioration du rendement du niébé et sur l'aggradation du sol. Cette utilisation comme amendement organique supplémentaire efficace dans l'aggradation des sols productifs (Lemieux et al., 1999) a été évoqué par Valet et al., (2007). Njoku et al. (1984.) ont démontré que les associations culturales réduisaient le lessivage de l'azote et des nutriments. Cela s'apparente assez à la conservation qu'aurait une jachère, des plantes de couvertures associées à l'emploi d'un engrais vert dont les effets sur la productivité des sols sont reconnus depuis longtemps sous toutes les latitudes (Etesse, 1932). Cette forte quantité de matière organique et minérale, leur nature différente dont les BRF expliquent le raccourcissement de la durée réparatrice des jachères observée dans l'Ouest Cameroun. Ceci a été vérifié par Salako et Tian (2001) au Nigeria et par Autfray (2005) en Côte d'Ivoire avec une seule plante de couverture riche en matière organique.

3.3.5. Le déficit hydrique climatique et édaphique

face au déficit hydrique lié à l'aridité en région Bamoun, les paysans limitent les IOS à 2 et pour les deux régions à 1,50 pour la sécheresse édaphique (sols peu profonds, caillouteux et/ou pentus). Cette sécheresse est un risque qu'accroît le changement climatique depuis 1970 ; même si Sinha et al. (1985) indiquent que quatre plantes consomment seulement 28% de plus par hectare que chaque monoculture et si Dupriez (1980b) estime que la compétition hydrique et nutritionnelle est réduite car les "*assiettes radiculaires*" présentent des caractéristiques morphologiques et physiologiques différentes et complémentaires dans le temps et l'espace, et que le décalage des semis et les longueurs de cycle différents déplaceraient les besoins nutritionnels et hydriques qui ne se font pas aux mêmes époques (Baldy et Stigter, 1997). Cela explique que le comportement et le fonctionnement hydriques (régime et bilan hydriques et réserve en eau utile) des sols devraient servir de critères de classement pour caractériser chaque écosystème (Valet, 1969 et 1974). Dongmo (1981) confirmait que chaque "*terroir est défini par une structure particulière du complexe pente-sol-eau*".

3.3.6. Comportement photosynthétique

La photosynthèse des populations de plantes complexes dépend de l'effet de leur étagement sur la modification à la baisse de la température et du maintien d'une humidité plus élevée atmosphérique et du sol au cours de périodes/saisons sèches, de l'importance des radiations solaires directes ou indirectes reçues et de l'interception des vents violents (Valet, 1974 ; Barradas et Franjul, 1986 ; Baldy et Durand, 1970 ; Stoutjesdijk, Ph., 1972).

3.3.7. Conséquences socio économiques

- Valorisation du travail : Elle porte non seulement sur le travail de défriche initial comme dans le sud-Cameroun (Leplaideur, 1978), mais aussi sur la quantité de travail par unité de surface cultivée (de Ravignan, 1969). Elle répond bien à l'accroissement démographique par l'absorption de main d'œuvre qui serait excédentaire en monoculture intensifiée sans assurance d'autosubsistance. Son rôle est un excellent régulateur socio-politique.

- Valorisation spatio-temporelle : Grâce aux IOS élevés, les associations permettent de tirer le maximum des terroirs spatialement et leur semis en relais temporellement comme Hecq (1958) l'a démontré aussi chez les Bashis.

- Valorisation monétaire : En valeur monétaire, dans les zones où l'intrant majeur est la main d'œuvre familiale (non rémunérée), les cultures associées produisent en moyenne 62% de plus que les monocultures intensifiées/unité de surface en revenu brut (Norman, 1973). En plus, les bénéfices de divers systèmes de cultures associées traditionnelles et raisonnées comparés aux monocultures intensifiées sont toujours supérieures à ceux des plantes seules par unité de surface (LER). Ces bénéfices sont très fortement proportionnels au nombre de plantes de l'association de -20000CFA pour une monoculture céréalière et de légumineuse à 122000CFA pour douze espèces (au cours de 1970) ; ceci avant la dévaluation du franc CFA de 50% et la suppression des subventions agricoles et la baisse des barrières douanières (Valet, 2007 et 2009).

4. Conclusion

Les associations culturales multi-stratifiées et en relais, et ce d'autant que les espèces sont plus nombreuses, surpassent les monocultures sur tous les plans agronomique, phytosanitaire, conservation de la fertilité, hydrique, antiérosif, économie en eau et en intrants, biodiversité, alimentaire, organoleptique et monétaire. Cette réussite, démontrée depuis longtemps, est due aux services écologiques mis naturellement à disposition par les écosystèmes pour produire plus de façon soutenue. Il reste à concevoir le « *mariage symbiotique* » « **des savoirs empiriques paysans** » logiques et stratégiques et « **des savoirs savants** » analytiques et prédictifs pour une agronomie innovante, écologique, soutenue, compétitive évoluant avec celle des contraintes diverses connues qui nous menacent et celles à anticiper, contre lesquelles les systèmes actuels paysans et modernes montrent leurs limites. Toutefois, tout « *développement ne peut se faire qu'à partir des cultures associées traditionnelles qu'il est impératif de connaître, par la mise en place de niveau d'intensification et de niveau d'équipement progressifs et adéquats (paliers technologiques)* » (Valet, 1976 et 1980). L'« **intensification écologique** » prônée par les « *nouveaux agronomes* » devra éviter un nouveau forçage de ces associations par des IOS trop forts, des intrants excessifs, des associations concurrentes, des plantes d'exportation au détriment du vivrier et des rendements miniers. Ces systèmes agraires innovants devront être choisis par les paysans et non subis.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Autfray P., 1995.** Systèmes de cultures associées sur les hauts plateaux bamiléké de l'Ouest Cameroun. Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. Actes du séminaire, 13-17 nov. 1995. p: 310-317.
- Baldy Ch., 1963.** Cultures associées et productivité de l'eau. *Ann. Agro.* 14, 4 :484-534.
- Barradas V.S. and I. Franjul, 1986.** Microclimatic characterisation of shaded and open grown coffee. Plantation in Mexico. *Agric. For. Meteorol.* 38 :101-112.
- Cattet R., 1996.** La légumineuse arbustive *Calliandra calothyrsus* comme protection des Andosols à la Réunion. Cahiers d'Agricultures et d'Etudes et de Recherches francophones. Aupelf-Uref (John Libbey Edit.). 5, 3 : 157-160.
- de Ravignan, 1969.** Etude de la production vivrière dans la ZAPI de Menguémé (Centre Sud du Cameroun). Doc. MD 206.24p.
- Dongmo J-L., 1981.** Le dynamisme bamiléké. Vol. I. *La maîtrise de l'espace agraire.* Yaoundé, Ceper, 424p.
- Duchaufour H., Ph. Guizol, M. Bizimana, 1996.** Avantage et inconvénients comparatifs de la haie mixte Calliandra/Setaria et du mulch comme dispositif antiérosif en milieu rural burundais. Bull. RESEAU EROSION N°16, IRD BP 5045, 340 32 Montpellier Cedex1 France. : 132-151.
- Dupraz Ch. Et F. Liagre, 2008.** Agroforesterie : des arbres et des cultures. Editions France Agricole
- Dupriez H., 1980.** Cultures associées ou monocultures ? Validité du savoir paysan. Cahier d'Etude du milieu et d'Aménagement du territoire. Environnement africain et Développement du Tiers-monde (ENDA). Bp 3370 Dakar. Sénégal. 24p.
- Dupriez H. et Ph. de Leener, 2003.** Arbres et agricultures multiétagées d'Afrique. CTA, Terres et Vie. L'Harmattan, 7, rue de l'école Polytechnique, 75005, Paris. 280p.
- Dupriez H., 2006.** Agriculture tropicale et exploitations familiales d'Afrique. Terre & Vie. Belgique. CTA. Coopération belge. Diobass, Ecologie et Société. 480p.
- Egger K., 1986.** L'intensification écologique. Conservation (LAE) et amélioration des sols tropicaux par les systèmes agro-sylvo-pastoraux. p129-135. Docu. Syst. Agraires n°6 : *Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production.* Actes du III^{ème} Séminaire. Tome I. CIRAD BP 5035, 34032 Montpellier 16-19 déc. 1986 : 115-127.
- Etesse M., 1932.** Etude sur le maintien de la fertilité des sols coloniaux par les plantes de couverture et les engrais verts. *L'Agronomie Coloniale.* N° 173. Inst. Nat. d'Agro. Colon. : 163-180.
- Etienne M. et H. Rapey , 1999.** L'agroforesterie en France. INRA, Paris, FRANCE (Monographie).
- Feller C., M. Bernoux, A. Albrecht, C. Valentin, B. Barthes, F. Blanchart, 2005.** Bilan comparé des émissions/séquestration des gaz à effet de serre dans les systèmes de culture agro-écologiques (semis direct sous couverture végétale, SCV) et les systèmes de culture traditionnels. Rapport d'avancement du projet FFEM/AFD. Montpellier, 36 pages + annexes.
- Fotsing J-M., 1993.** Erosion des terres cultivées et propositions de gestion conservatoire des sols en pays bamiléké (Ouest-Cameroun). *Cahiers ORSTOM. Sér. Pédologie,* 28, 2 : 351-366.
- GRET, 1982.** Cultures associées en milieu tropical. Eléments d'observation et d'analyse. Dossier Technologies et Développement. Coopération Française, 34, rue Dumont d'Urville, 75116, Paris Cedex.75p.
- Haeggström, C. A., 1998.** Pollard meadows: multiple use of human-made nature, dans KIRBY (K. J.), WALKINS C. *The ecological history of european forests.* Wallingford, p. 33-42. Hanna A.Y., P.W. Harlan, and D.T. Lewis, 1983. Effect of landscape position and aspect on soil water Hulugalle N. R. et Willatt S.T., 1987. Seasonal recharge. *Agronomy Journal.* 75 :57-60.
- Hulugalle N. R. and S.T. Willatt, 1987.** Seasonal variation in the water uptake and leaf water potential of intercropped and monocropped chillies. *Expl. Agric.* 23 : 273-282.
- Kalemba L. et Ndoki N., 1995.** Effets d'émondages arbustives et d'engrais minéraux sur le rendement du niébé en cultures en couloirs. Symposium régional sur la recherche et le Développement dans les zones tropicales humides d'Afrique Centrale et de l'Ouest, Yaoundé 1995. CIRAD, BP 5035, Montpellier, 34032, France., p 231-237.
- Kleitz G., 1988.** Les systèmes de culture en pays Bamiléké (Ouest Cameroun) : Exemple de la chefferie de Bafou. Centre Universitaire de Dschang. CIRAD. CNEARC. ASSAA, Montpellier, France. Le Courrier, 2002.
- Lemieux G., Lachance L., Stevanovic-Janezic T., 1999.** La structure des sols et le bilan du carbone : une fonction de l'effet de serre. Groupe de coordination sur les BRF. Université de Laval. Département des Sciences des Bois et de la Forêt. Québec GIK 7P4 Québec, Canada. 8p.
- Leplaideur A., 1978.** Les travaux agricoles chez les paysans du Centre-Sud Cameroun. IRAT, BP 5035, 34032, Montpellier. Multigr.
- Luginbühl Y., 1995.** *De l'utilité de l'émondage à la contemplation du paysage.* CNRS/ENSP/INRA, 121 p,
- .Manlay R.J., Porte O., Barthès B.G.** Effets de l'apport de bois raméal sur la plante et le sol : une synthèse des résultats expérimentaux. Submitted to Canadian Journal of Soil Science.
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier Lafontaine H., Rapidel B., De Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009.** Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for sustainable development,* 28 : 43-62.
- Mazoyer M., 1972.** Développement de la production et transformation agricole marchande d'une formation agraire en Côte d'Ivoire. Communication au Colloque sur les " Stratégies de Développement économiques, Afrique et Amérique Latine ". UN, Institut Africain de Développement économique et de planification, Dakar, sept. 1972.

- Ndayizigiye F., 1993.** Effets des haies arbustives (*Calliandra et Leucaena*) sur l'érosion, le ruissellement et les rendements (Rwanda) *Bull. Réseau Erosion*, 13, Montpellier, France, p. 41-51.
- Njoku B.O., Igbokwe M.C. and Ohiri A.C., 1984.** Leaching losses and recovery of fertilizer nitrogen in cassava/maize intercrop grown in lysimeter. *Proc. 6th Symposium Int. Soc. Trop. Root Crops*. 288p.
- Norman M. J. T., Pearson C. J. et P. G. E. Searl, 1984.** The Ecology of tropical Food Crops. Cambridge Univ. Press. (Second Ed. 1995). 369 p.
- Rishirumuhirwa Th., 1993.** Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation des sols ferrallitiques du Burundi. *Cahier ORSTOM, Pédologie*, 281, 2 : 367-383.
- Roose E., F. Ndayizigiye et L. Sekayange, 1995.** L'agroforesterie et la GCES au Rwanda. Comment restaurer la productivité des terres acides dans une région tropicale de montagne à forte densité de population. *Cahiers ORSTOM. Série. Pédologie*, 28, 2 : 327-349..
- Roose, E., 2004.** Erosion du C et indice de sélectivité à l'échelle de la parcelle dans les régions tropicales et méditerranéennes. IRD, BP 5045, 34032 Montpellier, France. *Bull. Réseau Erosion* N°23 :74-94.
- Salako et Tian , 2001.** Litter and biomass from planted and natural fallows on a degraded soil in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems*. 51. 239-251.
- Salez P., 1986,** Quelques facteurs influençant le comportement du maïs et du soja cultivés en association. « Some factors influencing the behaviour of maize-soybean intercrops ». Institut de Recherche Agronomique, Dschang, CAMEROUN. Vol. 41, n°2, pp. 101-109. 23-28 sept. 2002.p:311-321.
- Sieffermann J., 1973.** Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Mémoire ORSTOM. 183p.
- Schafer J-L, 1999.** Amélioration du système de culture du Macabo *Xanthosoma sagittiflora* (L.) en pays Bamiléké (Ouest Cameroun). *Cahiers d'Agricultures*. Vol. 8, N°1, Pp : 9-20.
- Sinha A. K., Nathan A. K., et Singh A. K.. 1985.** Radiation climate and water-use studies in intercropping systems. *J. Nuclear Agric. Biol.* 14(2) : 64-69.
- Stoutjesdijk, Ph., 1972.** A note on the spectral transmission of light by tropical rain forest. *Acta Bot. Neerl.* 21:346-350.
- Tardieu M, 1970.** Tentative dans la fertilisation des cultures associées. Séminaire Fondation Ford/IRAT/IITA sur les systèmes traditionnels de l'agriculture africaine et leur amélioration. IBADAN, 16-20 nov. 1970.
- Trenbath B. R., 1976.** Plant interactions in mixed crop communities. In : Multiple Cropping Papendick, Sanchez and Triplett Eds. ASA spec. Publ. 27 :129-170.
- Valet S., 1966-1971.** Rapports d'activité annuelle et rapports de synthèse. Mimeo IRAT-BP 99, Dschang. Cameroun.
- Valet S., 1967.** Principe d'organisation des régions naturelles en strates homogènes et son application à l'Ouest-Cameroun. (Premiers résultats). Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux. Tananarive, 19-25 nov.1967. p:355-380.
- Valet S., 1968.** Premiers résultats de la fertilisation minérale dans les conditions pédoclimatiques de l'Ouest Cameroun. Miméo IRAT-Dschang Cameroun.55p.
- Valet S., 1969.** Besoin en eau et production végétale dans l'Ouest Cameroun. Miméo IRAT Réunion de Programmation Bouaké, Côte d'Ivoire. IRAT, BP 5045, 34032, Montpellier. France. 12p.
- Valet S., 1974.** Note sur des observations et mesures de quelques facteurs climatiques, physiques et pédologiques et de leur incidence sur la production agricole à la station de Dschang (Cameroun). *Agr. Trop.* vol. XXIX, n°12, 1266 -1287.
- Valet S., 1976.** Observations et mesures sur des cultures associées traditionnelles en pays Bamiléké et Bamoun.(Essais de fertilisation et de pré vulgarisation de fumures-Cameroun). IRAT, BP 99 Dschang-Cameroun. IRAT, BP 5045, 34032, Montpellier. France. 38p.
- Valet S., 1980.** Etude des paramètres du milieu physique pour l'élaboration de cartes de zonation géoclimatique des pentes des paysages agro-géologiques et de mise en valeur de l'Ouest Cameroun. 1/200000ème. 24p. IRAT, BP 5045, 34032, Montpellier. France.
- Valet S., 1985.** Notice explicative des cartes du climat, des paysages agro-géologiques et des propositions d'aptitude à la mise en valeur des paysages agro-géologiques de l'Ouest Cameroun (1/200000ème.). IRAT-CIRAD-DEVE.BP 5045, 34032, Montpellier, France.118p, 7 cartes
- Valet S., 1999.** L'aménagement traditionnel des versants et le maintien des cultures associées traditionnelles : cas de l'Ouest Cameroun. Colloque International " L'homme et l'Erosion ". IRD-CIRAD. BP 5045, Montpellier, 34032, France. 12-15/12/1999. Yaoundé, Cameroun. 17p.
- Valet S., 2004.** Effet de la sécheresse sur les associations culturales vivrières de l'Ouest Cameroun. SECHERESSE (J. Libbey Eurotext, 127, ave. De la République, 92120). N°4, Vol. 11 :239-247.
- Valet S., 2007.** Les associations culturales traditionnelles améliorées : Une alternative écologique à l'intensification agricole face au changement climatique, démographique et à la « mondialisation ». « *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi arides.* » Enfi-IRD-Au francophonie. Réseau E-GCES de l'AUF. Conférence ISCO Marrakech-. 14-19 mai 2006. E. Roose, J. Albergel, A. Laouina & M. Sabir Edit. pp : 152-163.
- Valet S., Ph. Le Coustumer, M. H. Motélica, 2007.** Les techniques de contrôle du ruissellement et du report hydrique comme outils de gestion et de valorisation agro-forestières : séquestration du carbone et augmentation de la biomasse. Colloque international : «les rémanents en foresterie et agriculture- les branches : matériau d'avenir!». Lyon, 1 et 2 février 2007. Université de Savoie.

Potentiels de restauration de la qualité des sols sous agriculture de conservation au Maroc

Rachid Mrabet¹ et Rachid Moussadek²

1*INRA, 78 Boulevard Sidi Mohamed ben Abdellah, Tanger 90010 Maroc
rachidmrabet@gmail.com

2*Département de Géologie et des Sciences du sol, Université de Gand, Belgique
moussa.inra@gmail.com

Résumé

Au Maroc, la céréaliculture est, avec l'élevage, l'irrigation et le travail du sol, une des activités les plus anciennes pratiquées depuis des millénaires. Toutefois, cette filière ainsi que d'autres n'ont pas connu une amélioration notable en productivité due essentiellement à une dégradation des ressources en sols et à la sécheresse. Durant les trois dernières décennies, les travaux de recherche effectués en zones semi-arides marocaines, ont montré la nécessité de recourir à des systèmes agricoles à base de semis direct afin d'améliorer la qualité du sol et stabiliser les rendements à long terme. Cet article concerne une réflexion sur le bilan de la recherche en matière de qualité du sol sous agriculture de conservation au Maroc. En régime de semis direct ou de non travail du sol, la seule cause de variation d'état du sol reste la structuration naturelle sous l'effet des cultures, du type de gestion du sol (présence des résidus de récolte) et de la variation hydro-thermique qui dépend de la fluctuation des conditions climatiques. Les qualités physiques et chimiques des horizons superficiels du sol sont nettement améliorées sous le système de non travail du sol par rapport au labour conventionnel. La séquestration de la matière organique sous semis direct s'est traduite par une nette amélioration de la fertilité chimique du sol (niveaux d'azote, de phosphore et de potassium). Ces changements positifs de la qualité des sols sous semis direct sont traduits par des augmentations de rendements des cultures, même en années de sécheresse.

Mots clés : Maroc, semi-aride, semis direct sous litière, amélioration des SOM, stabilité de la structure, NPK, rendements des céréales.

Abstract

In Morocco, cereal cropping is, with livestock, irrigation and tillage, one of the most ancient activities practiced since millenniums. However, this sector as well as others did not know a considerable improvement in productivity essentially due to degradation of natural resources and drought. During the last three decades, the research conducted in Moroccan semi-arid zones, showed the necessity to shift to conservation agriculture in order to improve soil quality and stabilize long-term productions and returns. This article concerns a state of the art on assessing impacts of conservation agriculture on soil quality and wheat production in dry areas of Morocco. Under direct seeding systems, the only cause of variation of soil behavior is the natural changes in its structure under the influence of the cultures and the crop residue management as well as the hydro-thermal variation which depends on climate parameters and changes. Physical and chemical qualities of soil surface horizons are sharply improved under no-tillage systems with regard to conventional tillage systems. The retention and increase of the organic matter under direct seeding were translated by a net improvement of the chemical fertility of the soil (higher levels of nitrogen, phosphorus and potassium). These positive changes of the soil quality under direct seeding are translated by increases of crop production and returns even in years of sever aridity.

Keywords: Morocco, semi-arid climate, direct seeding, soil organic matter, NPK, aggregate stabilization, cereal yields.

Introduction

Etant donnée la nature de leurs sols et du régime des précipitations, les milieux pluvieux semi-arides marocains sont, pour l'essentiel, des milieux fragiles, rapidement dégradables si les modes de culture sont inadaptés. Ce sont aussi les régions où la population croît le plus vite et où la pauvreté affecte le plus grand nombre. La demande croissante en aliments et en matières premières d'origine agricole, tant interne qu'externe, a conduit le Maroc à accélérer le développement de ce secteur, non seulement par l'augmentation de la productivité, mais aussi par l'expansion de sa surface agricole. Pendant plusieurs décennies, une bonne production n'était possible que si la terre est travaillée par des instruments aratoires très diversifiés.

Le rôle essentiel du travail du sol est d'obtenir un état structural permettant une bonne germination et un développement racinaire indispensable à une bonne alimentation de la plante. Cependant, à travers le monde, les expérimentations de long terme ont révélé que plusieurs cultures (blés, orge, maïs, soja, pois chiche, fève, lentille, tournesol, fourrages) ont peu d'exigences en matière de travail du sol. En plus, au Maroc l'utilisation abusive et inappropriée de matériels de travail du sol dans les exploitations agricoles engendre l'érosion des sols, le ruissellement, l'appauvrissement en matières organiques et en pools nutritifs, la dégradation de la structure et le dessèchement. Cette situation ne peut assurer une agriculture durable.

En outre, l'agriculture marocaine subit, de manière de plus en plus accentuée depuis quelques décennies, plusieurs phénomènes de dégradation des ressources mêmes qui soutiennent ses niveaux de production. En effet, face aux divers changements climatiques, économiques et sociaux, l'agriculture marocaine doit connaître des modifications pour rester le pilier de l'économie. La durabilité de l'agriculture, et particulièrement la céréaliculture marocaine, est directement en liaison avec la nécessité de conserver le sol, d'améliorer l'utilisation de la ressource hydrique et d'augmenter la plus-value des terres. C'est l'un des objectifs principaux assignés à la nouvelle stratégie agricole marocaine dite Plan Maroc Vert. Ainsi, depuis presque trente ans à l'Institut National de la Recherche Agronomique, l'agriculture basée sur le labour et le travail du sol est remise en question alors qu'elle apparaît incapable de répondre aux principaux challenges en matière de conservation des sols et de l'eau, de protection de l'environnement, de sécurité alimentaire et de réduction des coûts.

L'agriculture de Conservation (AC) aussi appelée Agriculture Ecologiquement Intensive (AEI) est basée sur l'imitation progressive des systèmes naturels. AC ou AEI vise à relancer la production agricole en optimisant l'utilisation des ressources agricoles et en aidant à réduire la dégradation généralisée des terres par une gestion intégrée du sol, de l'eau et des ressources biologiques disponibles, combinée à des apports externes.

Le semis direct est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est plus travaillé. Dans le système de semis direct, les opérations se limitent à l'ensemencement de la culture. Le remaniement mécanique du sol est confiné à la seule implantation de la semence. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis et pendant la culture, est faite avec des herbicides, les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert.

Le semis direct est un paquet technologique qui repose sur quatre principes:

1) Supprimer les labours; 2) Couvrir en permanence le sol par une couverture morte constituée de résidus de récolte ou vivante sous formes de couverture végétale; 3) Semer directement à travers cette couverture protectrice à l'aide d'outils appropriés et 4) Contrôler les mauvaises herbes sans perturbation du sol (Mrabet, 2008). De par la diversité des processus modifiés par les systèmes d'AC, les indicateurs nécessaires à une évaluation intégrée des performances de ces systèmes sont multiples et de natures diversifiées (Mrabet, 2008).

Cet article concerne une réflexion sur le bilan de la recherche en matière de qualité du sol sous agriculture de conservation au Maroc. Les études sur les systèmes de semis direct ont commencé en 1983 dans les régions de la Choauia (300-400 mm) et les Abda (200-250 mm) sur les Vertisols uniquement pour être généralisées plus tard à d'autres régions agricoles. Ainsi, les régions concernées par cet article sont très diversifiées de point de vue climatique (allant de moins de 250mm dans les Abda à plus de 500 mm dans les régions du Gharb et des Zaers) et en types de sols. Une nuance sur l'économie du semis direct et la problématique de son adoption au Maroc est aussi présentée.

1. Productivité de la céréaliculture de conservation

Les conséquences de la sécheresse varient beaucoup selon l'intensification de l'agriculture et les pratiques agricoles. Les pertes provoquées par une absence de pluies pendant la saison de culture peuvent se traduire par une perte de l'ensemble de la récolte. Les pratiques agricoles constituent la première couverture du risque face à la sécheresse.

Les avantages agronomiques et technico-économiques du semis direct par rapport au travail du sol sont considérables. C'est une approche de gestion du sol qui cherche à limiter les dégâts causés à la composition, à la structure et à la biodiversité naturelle des sols. Les essais effectués confirment que l'absence de travail du sol n'entraîne quasiment aucune perte de rendement malgré le taux de levée souvent réduit. Ces résultats confirment l'impressionnant potentiel de compensation du blé sous semis direct dans la plus part des régions agricoles marocaines. En effet, les rendements du blé sous semis direct sont généralement supérieurs à ceux sous conditions de sols travaillés (Tableau 1).

De plus, la couverture végétale sous semis direct crée un environnement dans lequel les variations climatiques sont amorties, en termes de température et d'humidité. En période sèche, la couverture fait barrage à l'évaporation ; l'humidité résiduelle de la saison des pluies est maintenue. Lorsqu'il pleut en abondance, elle évite le ruissellement, favorisant le drainage de l'eau. Cet effet tampon permet de maintenir la production à un bon niveau d'une année à l'autre. Ceci explique les performances du blé sous semis direct en conditions diversifiées de systèmes de cultures, de sols et de pluviométries (Tableau 1).

La réduction du travail du sol s'avère souvent délicate à mettre en œuvre pour l'agriculteur qui doit revoir l'ensemble de la conduite de son système de culture pour prendre en compte l'impact des modifications du fonctionnement de l'agro-système. Cette technique peut induire une diminution des rendements durant les premières années, si toutes les conditions ne sont pas réunies. En particulier, l'augmentation de la biodiversité se traduit par une augmentation de la pression des bio-agresseurs, notamment des adventices qui ne sont plus enfouies par le labour. Ces multiples raisons en freinent la diffusion. Le désherbage chimique peut masquer les problèmes de salissement et par conséquent il doit être associé à une gestion appropriée de la rotation. Ainsi, sous semis direct, la gestion intégrée des mauvaises herbes est primordiale pour la durabilité du système et son acceptabilité par les

agriculteurs et les décideurs. En revanche, le semis direct ne demande pas de mesures spécifiques contre les maladies et ravageurs.

Pour réussir la conduite du semis direct, il est essentiel de disposer de semoirs adaptés. Le semis est réalisé à l'aide d'un semoir spécial qui peut semer et déposer les engrais dans un sol non perturbé et couvert de résidus de récolte (Figure 1). Une utilisation inappropriée ou inadéquate du semoir peut entraîner des effets négatifs sur la culture et par conséquent sur sa productivité. En effet, le choix du semoir semis direct est un paramètre critique qui exige une adaptation selon la diversification des cultures et les types de sol. Le mauvais fonctionnement ou la défaillance des semoirs sont des risques majeurs pour la réussite de l'implémentation de l'AC.



Figure 1. Semoir pour semis direct marocain produit par INRA (encadré) et semoirs importés du Brésil utilisés dans les programmes de démonstration chez les agriculteurs.

Tableau 1. Rendement du blé (Mg ha⁻¹) sous semis direct et conventionnel dans plusieurs régions agricoles du Maroc.

Région & pluie moyenne annuelle	Sol	Rotation	SD ^a	SC ^b	Années	Références
Chaouia 350 mm	Calcimagnésique	Blé Continu	2.47	2.36	4	Mrabet (2000a)
	Vertisol	Blé-Jachère	3.70	2.60	10	Bouzza (1990);
	Vertisol	Blé-Continu	1.90	1.40	10	Mrabet (2000b)
	Calcimagnésique	Différentes rotations	2.21	1.90	9	Mrabet (2011)
	Vertisol	Blé-Pois chiche	1.87	0.76	3	Mrabet (2001)
	Rendzine	Blé-Pois Chiche	2.53	1.47	9	Mrabet (2010)
Sais 450 mm	Vertisol	Différentes rotations	2.55	2.49	4	Essahat A. (communication personnelle données non publiées)
	Fersiallitiques	Différentes rotations	2.72	2.74	4	Mrabet (2008)
Abda 250 mm	Vertisol	Blé-Jachère	3.10	2.40	19	
	Vertisol	Blé-Continu	1.60	1.60	19	
Zaers (550 mm)	Vertisol	Blé-Lentilles	1.97	1.41	4	Moussadek R. (communication personnelle données non publiées)
	Isohumique	Blé-Lentilles	2.99	2.72	4	
	Fersiallitiques	Blé-Lentilles	2.71	2.49	4	
Gharb > 600 mm	Vertisol	Blé-continu	2.80	2.26	3	Razine & Raguin (2008)

^a = Semis direct sur tapis

^b = Travail du sol conventionnel

Les pertes de productivité peuvent provenir de sols compactés, ce qui n'a pas été le cas de la concrétisation des systèmes de semis direct dans les sites de la région des Zaers et du Gharb. En effet, selon le Tableau 1, malgré que ces sites présentent des formes de compaction et de tassement, les rendements du blé sous semis direct avec litière sont supérieurs que ceux réalisés sous conditions de travail du sol à base de charrue à disques et de stubble-plow et/ou pulvérisateur à disques.

Dans la région des Zaers, une étude réalisée sur un Vertisol a révélé que le profil d'impédance sous semis direct présente des zones de compaction (semelles de labour) aux niveaux des horizons inférieurs. Par contre, le profil d'impédance sous système de travail du sol conventionnel est plus uniforme et à des niveaux de résistances mécaniques à la pénétration plus faible (Figures 2 et 6). Toutefois, cet état mécanique du sol n'a pas affecté les rendements des cultures sous semis direct comme le montre le tableau 1 et figure 6.

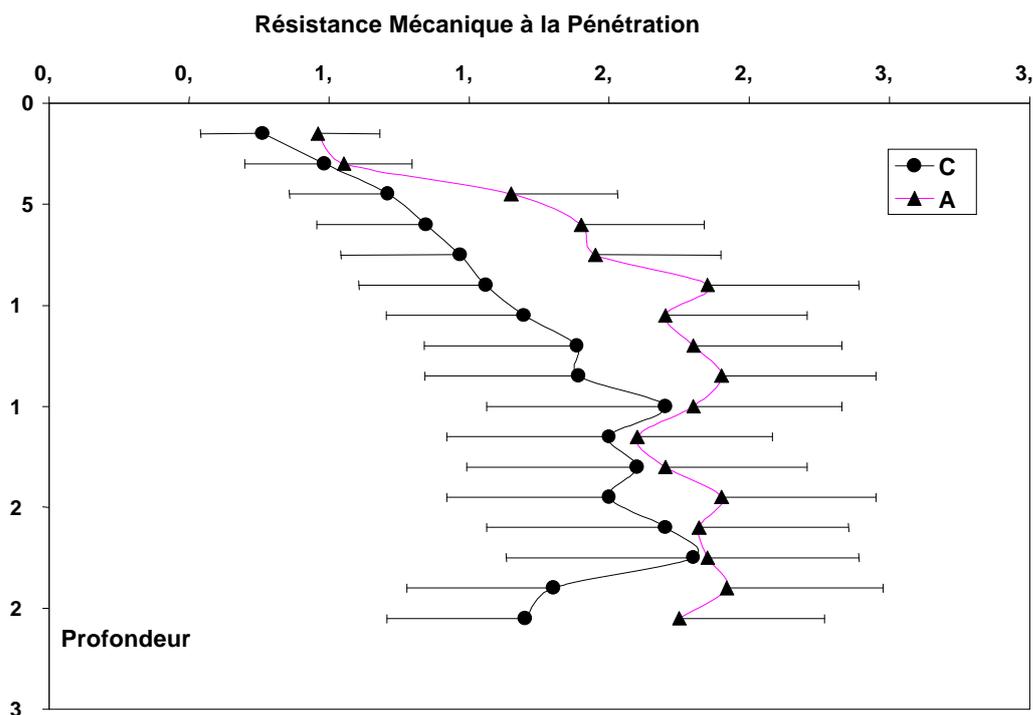


Figure 2. Profils d'impédance d'un Vertisol soumis aux systèmes de semis direct (AC) et de travail du sol conventionnel (CT) (Merchouch, Zaers) (Mrabet, 2008).

D'une manière générale, les pratiques agricoles basées sur les principes de l'agriculture de conservation contribuent à lutter contre la sécheresse, puisqu'elles visent deux grands objectifs : améliorer le stockage de l'eau dans les sols, et réunir les conditions édaphiques d'une bonne croissance des plantes. Des cultures en « bonne santé » résistent mieux au stress hydrique. Mais le potentiel biologique de celles-ci n'en est pas modifié, et c'est bien là l'objectif de l'amélioration génétique sous semis direct (Ramdani et al., 2010).

Le pâturage et l'exportation des résidus de récolte et des chaumes sont considérés comme des limitations à l'adoption du semis direct par les agriculteurs marocains. Les résultats ont conclu qu'il est possible d'exporter jusqu'à 4 tonnes de biomasse de l'exploitation sans pour autant affecter le rendement du blé. En d'autres termes, le sol peut n'être couvert qu'à 70% ou 2 Mg ha^{-1} sans affecter la productivité de la culture. Parmi les options conçues pour adapter le semis direct au contexte d'agriculture mixte (culture – élevage), on peut citer:

- L'inclusion d'une sole fourragère dans les rotations;
- L'exportation partielle de la biomasse ou le pâturage contrôlé sur chaume ;
- La diversification des cultures sous semis direct (cultures de rente).

2. Stockage de la matière organique et fertilité chimique des sols

Le carbone est au cœur des débats internationaux, parce qu'il renvoie à deux enjeux principaux, l'un de nature globale, le changement climatique et l'autre de portée locale, la fertilité des sols.

Le critère le plus important de la dégradation du sol est la perte de la matière organique du sol. L'agriculture marocaine basée sur le labour et l'exportation de la biomasse, conduite généralement sans apport d'amendements organiques, a entraîné un abaissement

général du contenu en matière organique des sols en liaison avec une minéralisation du carbone ainsi que la production de gaz carbonique (Figure 3). Les sols ont atteint des teneurs très basses en matières organiques (entre 0.5 et 2%) et les conséquences s'en font sentir, d'une part, sur l'agrégation, la stabilité de la structure et la sensibilité à l'érosion et, d'autre part, sur la biodiversité et la vie biologique (Lal, 2002 ; Mrabet et al., 2001a). En d'autres termes, la dégradation des sols cultivés est principalement due à l'absence de gestion de leur fertilité. L'amélioration de la gestion de la fertilité du sol doit être une part importante de la politique de développement du pays. Le défi principal doit, donc, de renverser l'appauvrissement des sols en matières organiques (Tableau 2) et augmenter leurs stocks nutritifs et leurs états physiques par des initiatives de recapitalisation. Il faut donc plaider pour une nouvelle agriculture durable fondée sur la réduction des manipulations mécaniques du sol et la protection par des couvertures végétales : les systèmes de semis direct. Ces derniers systèmes permettent une réduction conséquente des taux d'émission du gaz carbonique par rapport aux systèmes basés sur les labours et la préparation des lits de semences (Figure 3) et une augmentation des taux de matières organiques dans le sol, surtout en surface.

Tableau 2. Effets des systèmes de travail du sol sur les niveaux de matières organiques du sol dans différentes régions agricoles du Maroc.

Région	Type de sol	Horison (cm)	Années	SD	SC	References
Zaers	Vertisol	0-7	4	2.05	1.47	Moussadek et al. (2011a)
Chaouia	Calcimagnésique	0-2.5	5	1.73	1.66	Bessam & Mrabet (2001)
	Calcimagnésique	0-2.5	11	2.89	2.35	Mrabet et al. (2001a)

Le zéro-labour est l'une des techniques utilisées dans l'agriculture de conservation, qui vise à renforcer et à maintenir la production agricole en préservant et en améliorant les ressources en sols et en eaux ainsi que les ressources biologiques. En substance, cette technique permet aux micro-organismes et à la faune d'assurer le travail du sol et l'équilibre des éléments nutritifs - un processus naturel perturbé par le labour mécanique. Mrabet et al. (2001a) ont trouvé que le semis direct séquestre 13.6% de carbone après 11 ans de son adoption dans un sol argileux.

Afin d'assurer les rendements, il est recommandé d'augmenter légèrement les apports d'azote durant la phase de transition. En effet, Bessam et Mrabet (2001) ont trouvé que le taux de matière organique évolue de façon remarquable sous semis direct en fonction du temps, alors que sous travail classique, le sol garde sensiblement les mêmes taux (Tableau 2). Cette part de la fertilité gratuite construite en semis direct permet d'augmenter la productivité des cultures avec moins d'engrais minéral et d'accroître le potentiel du sol. En effet, Mrabet et al. (2001b) ont trouvé que les niveaux de phosphore, d'azote et de potassium s'améliorent en semis direct par rapport au travail du sol conventionnel (Tableau 3). Selon Mrabet et al. (2008), à l'exception d'une réduction du niveau du magnésium dans les conditions de semis direct, les autres bases échangeables (Ca, K et Na) et la CEC n'ont pas été affectées par le système de travail du sol après 15 ans d'expérimentation sur un sol calcimagnésique de la Chaouia.

Tableau 3. Effets du système de travail du sol sur le niveau de phosphore, potassium et d'azote dans les horizons de surface d'un sol calcimagnésique caractéristique du semi-aride Marocain (Mrabet et al., 2001b).

Profondeur des horizons (mm)	Non-labour	Labour conventionnel	Moyenne
Azote Total (g kg⁻¹)			
0 – 25	1.84	1.33	1.59
25 – 70	1.49	1.34	1.41
70 - 200	1.20	1.20	1.20
P assimilable (mg kg⁻¹)			
0 – 25	29.9	18.0	23.9
25 – 70	19.3	16.5	17.9
70 - 200	8.7	10.9	9.8
K échangeable (mg kg⁻¹)			
0 – 25	476	284	380
25 – 70	292	257	274
70 - 200	149	178	163

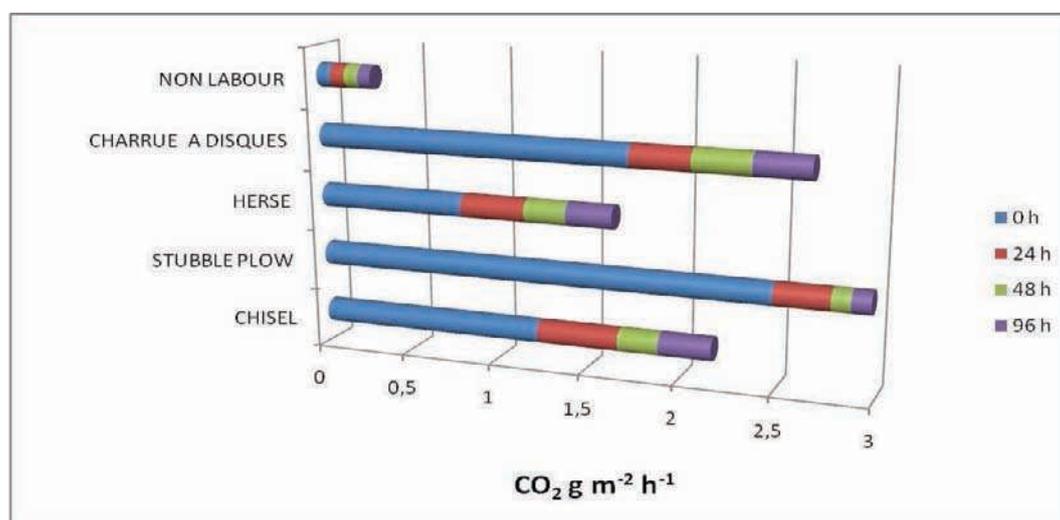


Figure 3. Effet des systèmes de travail du sol sur l'émission du gaz carbonique en fonction du temps (Moussadek et al., 2011b).

3. Contrôle de l'érosion et agrégation du sol

Notons que dans plusieurs pays (Etats Unis d'Amérique, Brésil, Australie), la lutte contre les phénomènes d'érosion et de ruissellement est une des principales raisons de promotion du semis direct. Les pratiques limitant l'érodibilité sont celles qui assurent à l'horizon de surface un taux de carbone élevé et par conséquent une agrégation stable : systèmes de non-labour et apports de matières organiques.

Les techniques mécanisées de travail du sol modifient les propriétés physiques du sol en provoquant une réduction du degré de cohésion des agrégats. La déformation de l'agrégat engendre le tassement, la compaction, la réduction de l'infiltration et permet par conséquent une structure instable qui mène au développement d'une croûte de battance en surface vulnérable à l'érosion. Le travail du sol intensif affaiblit donc la structure et détruit la cohésion des agrégats. Cependant, au semis direct est souvent associé un état physique qui ne

pénalise pas les cultures et qui est efficace à réduire le développement des croûtes de battance et du compactage.

Il est donc essentiel d'interrompre les facteurs de dégradation pour permettre au milieu de retrouver naturellement la flore et la faune primitives et plus tard les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols originaux (Aronson et al., 1993; Roose, 1993). L'état physique favorable sous semis direct avec litière est lié à l'évolution de la structure du sol (augmentation des agrégats hydrostables, de la porosité biologique, et de la conductivité hydraulique à saturation). Le semis direct agit sur l'agrégation du sol à travers son action sur les agents d'agrégation : la matière organique, les microorganismes, l'aération, la circulation de l'eau, les réactions physico-chimiques, etc.... (Tableau 4).

Tableau 4. Effets du système de travail du sol sur l'agrégation du sol dans deux régions agricoles marocaines.

Région	Type de sol	Horizon (cm)	Années	SD	SC	References
Zaers	Vertisol		4	0.97 ^a	0.65	Moussadek et al. (2011a)
Chaouia	Calcimagnésique	0-2.5	4	65 ^b	48	Lahlou & Mrabet (2001)
	Calcimagnésique	0-2.5	11	3.78 ^c	3.21	Mrabet et al. (2001a)

^a = Mean weight diameter of aggregates (mm) according to Le Bissonnais (1996).

^b = Hydrostabilité des agrégats (en %: agrégats de 1-2 mm) according to Kemper and Rosenau (1986)

^c = Mean weight diameter of aggregates (mm) according to Youker and McGuinness (1956).

On peut remarquer au tableau 5, que pour le système de travail du sol à base de chisel, le volume ruisselé et la détachabilité sont très proches de ceux obtenus dans le cas de l'itinéraire technique à base de charrue à disques. La parcelle en semis direct par contre, permet une diminution du ruissellement de 30 à 50% et surtout une protection contre les pertes en terre, puisque la détachabilité diminue de 50 à 70% par rapport à la charrue à disques. Ces résultats sont confirmés par Moussadek et al. (2011a) (Figure 4). Ces auteurs ont trouvé que les résidus de couverture sous semis direct permettent des réductions importantes des pertes d'eau par rapport à un système de travail du sol sur pente de 5% dans une zone semi-aride (Région des Zaers).

Tableau 5. Pourcentage du volume ruisselé et de la détachabilité d'un sol isohumique sous systèmes de semis direct et du "chiseling" par rapport à un système de travail du sol à base de charrue à disques sur le site de Ras Jerri (région du Meknès, Maroc) (Dimanche, 1997).

Système de travail du sol	Intensité de pluie (mm/h)	$\theta_v = 25\%$		$\theta_v = 30\%$	
		50	80	50	80
Charrue à disques	Qr and De (%)	100	100	100	100
Chisel	Qr (%)	103	96.3	102.4	93.8
	De (%)	93.5	85.4	93.6	92.7
Semis direct	Qr (%)	52.9	66.2	49.2	69.7
	De (%)	28.9	38.9	30.0	49.4

θ_v = Humidité volumétrique du sol, Qr = Quantité ruisselée, De = Détachabilité.

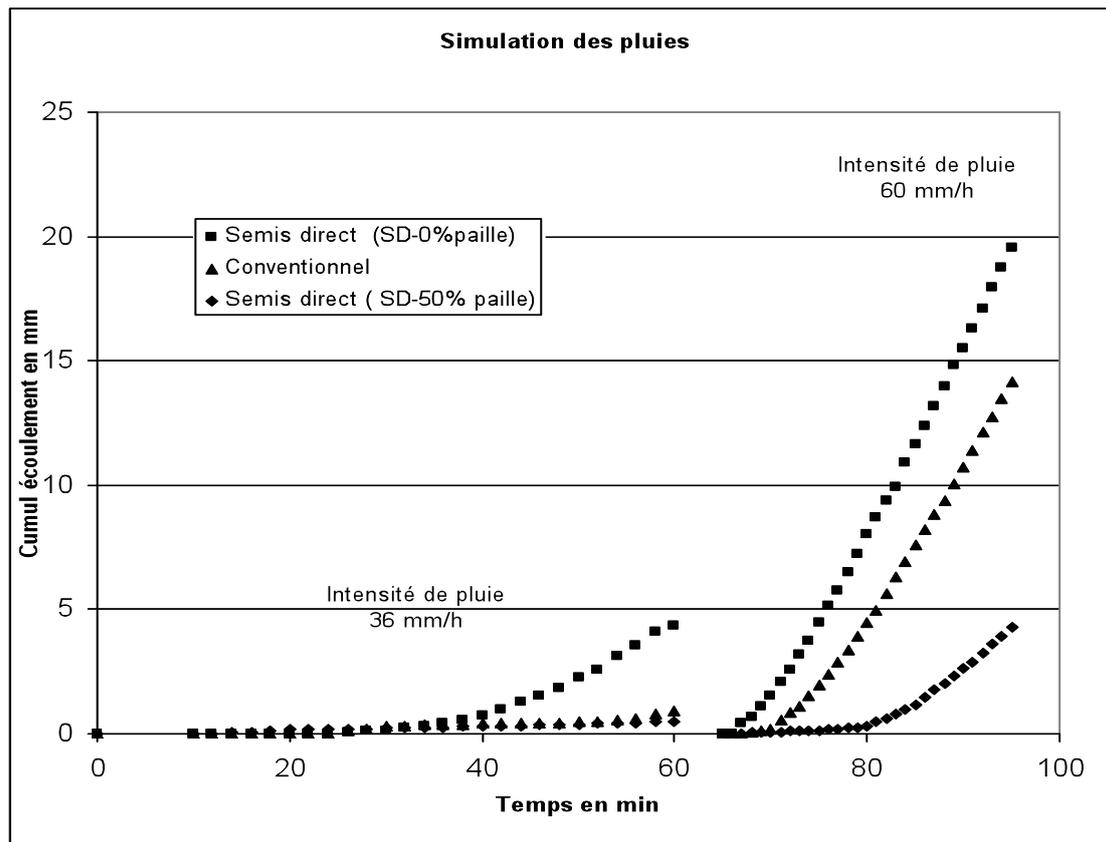


Figure 4. Lames ruisselées cumulées en fonction du temps sous deux intensités de pluies simulées sur sol en pente de 5% (Moussadek et al., 2011a).

4. Economie du semis direct: de plus en plus d'agriculteurs abandonnent leurs charrues

Le semis direct n'est sans doute pas la panacée, mais il représente un espoir sérieux pour beaucoup d'agriculteurs et pour l'agriculture marocaine en général. Les avantages du changement au semis direct font plus que compenser le supplément de coût de la protection des cultures (i.e. herbicides). Ces avantages sont: une augmentation de la surface exploitée, une suppression des coûts des labours et des façons superficielles, et une économie du temps, du carburant, de la main d'œuvre et des charges d'équipements.

Les systèmes en semis direct, consomment beaucoup moins de main d'œuvre que les systèmes avec labour. En d'autres termes, le semis direct offre donc une très forte économie de main d'œuvre par rapport au labour, justement sur les opérations les plus pénibles du calendrier cultural, à savoir, les travaux du sol. Ainsi, les coûts de production sont systématiquement plus faibles avec semis direct, grâce à la très forte réduction de main d'œuvre. Ces économies compensent normalement le coût supplémentaire des méthodes de conservation (application d'herbicides et matériel de semis direct).

Dans la plupart des situations, le semis direct réduit les temps de travaux et leur pénibilité et entraîne une nouvelle répartition du travail au cours du temps qui écrête les pointes de travail. D'autres retombées positives découlent de l'économie du temps, notamment la possibilité de choix d'une humidité optimale et donc meilleure qualité du lit de semences et coût de production plus faible. Ces avantages économiques augmentent avec la durée d'adoption du semis direct (de la phase d'initiation à la phase de maturité du système).

Conclusions : Lever les barrières de dissipation et de généralisation des systèmes de semis direct au Maroc

Malgré les progrès réalisés en agriculture marocaine, on prend conscience – de façon latente mais grandissante – que les tendances actuelles du développement agricole et rural ne sont pas durables. La pratique séculaire de retourner la terre avant de planter une nouvelle culture est une des principales causes de la dégradation des terres agricoles au Maroc, en Afrique du Nord et dans le monde. En d'autres termes, les tentatives de transfert d'outils modernes de travail du sol de l'Europe vers le Maroc ont connu plus d'échecs que de succès et n'ont pas été satisfaisante pour créer un environnement propice à la révolution agricole.

Le labour est progressivement remis en cause dans différents contextes et situations, au Nord et au Sud, essentiellement pour des raisons d'ordre économique et environnemental. Il y a une expansion rapide des superficies en semis direct, passant de 45 millions d'hectares en 1999 à 117 millions d'hectares en 2010, ce qui représente 8 pour cent des superficies agricoles mondiales. Les répercussions environnementales et économiques sont jugées favorables en condition d'AC dans la plus part des situations et régions du Monde (Derpsch & Friedrich, 2010).

Au Maroc, bien que des efforts très visibles aient été faits au cours des trois dernières années en matière de semis direct, les institutions publiques devront tout mettre en œuvre pour accélérer la pénétration de ces pratiques. L'adoption des systèmes de semis direct au Maroc peut être retardée par un contexte défavorable: manque d'associations d'agriculteurs, compétition avec le bétail dans l'utilisation des résidus de récolte; accès réduit aux intrants de qualité et aux équipements; manque de connaissance; appui insuffisant de la part des institutions en raison d'un manque de connaissances sur le semis direct ; droits et pratiques agraires usuels; droits d'utilisation de la terre peu durables; politiques inopportunes qui favorisent les pratiques conventionnelles, politiques trop pro-urbaines; infrastructures rurales inadéquates et manque d'accès aux marchés.

En plus des conditions climatiques, les modalités de mise en œuvre des systèmes de semis direct et les conditions de leur adoption en milieu agricole dépendent du contexte socio-économique où ils s'appliquent. En effet, les conditions socio-économiques constituent bien souvent un frein à leur adoption par les agriculteurs. Il est nécessaire de réaliser une analyse à l'échelle des unités de production en considérant en simultanée les avantages agronomiques visés, la possibilité d'intégration du semis direct au sein des systèmes d'exploitation (équipement, main d'œuvre, intrants, élevage) et la faisabilité économique. Le système de semis direct a été essayé en conditions de pente et les résultats préliminaires montrent une nette supériorité de rendement par rapport au labour à l'aire (Figure 5).

Certaines contraintes à l'adoption des systèmes de semis direct se situent également au niveau du fonctionnement des systèmes agraires (gestion du foncier, relations agriculture-élevage, pâturage). Toutefois, les résultats dans plusieurs sites ont montré que le semis direct est techniquement transférable. La compréhension de ces différentes contraintes de processus d'innovation qui vont bien au-delà d'une simple dichotomie « labour-non-labour » est sans doute un enjeu essentiel pour permettre à l'agriculture marocaine de répondre aux enjeux actuels et à venir (Tableau 6). En effet, l'objectif principal de la nouvelle politique agricole marocaine, dite Plan Maroc Vert, est d'instaurer une agriculture à haute valeur ajoutée, productive et respectueuse de l'environnement, qui peut être largement satisfait à travers une transition réfléchie vers AC ou AEI.

Tableau 6. Les défis et les forces des systèmes de semis direct.

Forces	Défis
<ul style="list-style-type: none"> • Erosion et conservation des sols. • Conservation de l'eau. • Amélioration de la qualité des sols. • Réduction des coûts énergétiques et de main d'œuvre. • Gouvernance environnementale. • Agriculture durable et développement. • Séquestration du carbone. • Atténuation des changements climatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pénétration difficile dans le tissu social agricole. • Investissement en équipement. • Dépendance (utilisation accrue) vis-à-vis des herbicides. • Changements importants dans les infestations des mauvaises herbes et maladies. • Exigences élevées en fertilisation azotée.



Figure 5. Prototype de semoir semis direct utilisé dans les zones de montagne au Maroc (Rif et Moyen atlas)

Références

- Aronson J., C. Floret, E. Le Floc'H, C. Ovalle, & R. Pontanier. 1993.** Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the South. *Restoration Ecology* 1, 1: 8-17.
- Bessam, F. & R. Mrabet. 2001.** Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a vertic Calcixeroll in a semiarid area of Morocco. Garcia-Torres et al. (Eds). *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*. Volume II: 281-286. ISBN 84-932237-2-7.
- Derpsch, R. & T. Friedrich. 2010.** Sustainable Crop Production Intensification – The Adoption of Conservation Agriculture Worldwide - Proceedings of the 16th ISCO Conference, 08-12 November 2010, Santiago, Chile p 265-293.
- Dimanche, P. H. 1997.** Impacts des différents itinéraires techniques de travail du sol sur la dégradation des sols argileux dans la région de Meknès (Maroc). PhD dissertation. Louvain-La-Neuve, Belgique, 268p.
- Kemper, W.D. & R.C. Rosenau. 1986.** Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2, 2nd Edition. *Agronomy Monograph*, Vol. 9. *Soil Science Society of America*, Madison, WI, pp. 425-442.
- Lahlou, S. & R. Mrabet. 2001.** Tillage Influence on aggregate stability of a Calcixeroll Soil in semiarid Morocco. Garcia-Torres et al. (eds). *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*. Volume II: 249-254. ISBN 84-932237-2-7

Lal, R. 2002. Carbon sequestration in dryland ecosystems of west Asia and North Africa. *Land Degradation & Development*. (13):45-59.

Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47, 425-437.

Moussadek, R., R. Mrabet, P. Zante, J-M. Lamachere, Y. Pepin, Y. Le Bissonnais, L. Ye, A. Verdoodt, & E. Van Ranst. 2011a. Influence du semis direct et des résidus de culture sur l'érosion hydrique d'un Vertisol Méditerranéen. *Canadian Journal of Soil Science* (in press).

Moussadek, R., R. Mrabet, A. Verdoodt, R. Dahan, & E. Van Ranst. 2011b. Effect of conservation agriculture on soil CO₂ flux in semi-arid Morocco. Colloque "6 th International Congress in European Society for Soil Conservation". Thessaloniki, Greece, 9-14 Mai 2011.

Mrabet R. 2000. Differential response of wheat to tillage management systems under continuous cropping in a semiarid area of Morocco. *Field Crops Research* 66(2):165-174.

Mrabet, R., N. Saber, A. El-Brahli, S. Lahlou, & F. Bessam. 2001a. Total, Particulate Organic Matter and Structural Stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil & Tillage Research*. (57):225-235.

Mrabet, R., K. Ibno-Namr, F. Bessam & N. Saber. 2001b. Soil Chemical Quality Changes and implications For Fertilizer Management after 11 Years of No-Tillage Wheat Production Systems in Semiarid Morocco. *Land Degradation & Development* 12:505-517.

Mrabet, R., 2003. Lutte contre sécheresse et la désertification en Afrique du Nord. Rapport d'expertise pour la commission économique pour l'Afrique (ONU), 36p.

Mrabet, R. 2008. No-Tillage systems for sustainable dryland agriculture in Morocco. *INRA Publication*. Fanigraph Edition. 153p.

Mrabet, R., A. Essahat, & R. Moussadek. 2008. Influence des systèmes de travail du sol sur les propriétés des sols en zones semi-arides du Maroc. In E. Roose et al. (Edts). " *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides.*" AUF, EAC & IRD éditions, Paris, 402p : pp: 274-290. ISBN : 978-2-914610-76-6.

Mrabet, R. 2010. Climate change and carbon sequestration in the Mediterranean basin: Contributions of No-tillage systems. *Recherche Agronomique (Numéro Spécial INRA Algérie)*: 106-126.

Ramdani A., Mrabet R., & Gomez Macpherson, H. 2010. Performance of Moroccan wheat cultivars under tillage systems and water regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology* 4(5):106-111.

Razine, M. & Raguin, M. 2008. Le semis direct des céréales: expérience du domaine agricole de Sidi Kacem. *Bulletin de Transfert de Technologies* 163:1-4.

Roose E., 1993. Innovations dans la conservation et la restauration des sols. *Cahier ORSTOM Pédol.*, 28(2), 147-156.

Youker, R.E. & J.L. McGuinness. 1956. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analysis of soils. *Soil Sci.* 83:291-294.





Figure 6. Blé sous semis direct avec litière dans la région des Zaers à différents stades.

T h è m e 4

Rôles des arbres dans la GCES en fonction du bilan hydrique régional

Les arbres isolés dans les champs cultivés, suite à un défrichement sélectif ou à des plantations forestières protègent à la fois la dynamique des eaux de surface et la fertilité de l'horizon humifère par l'apport régulier de litières de feuilles et de rameaux. Par contre, même une densité de 200 arbres plantés par hectare ne suffit pas pour maîtriser l'érosion en nappe sur les fortes pentes. Elle peut néanmoins réduire les risques de glissement de terrain lors des pluies surabondantes.

Pour obtenir à la fois une bonne infiltration, l'accumulation locale de la fertilité et des matières organiques et la protection du sol, il faut organiser des haies vives d'arbustes et d'arbres fruitiers à racines profondes qui limitent les risques de glissement de terrains très pentus, produisent beaucoup de biomasse et remontent des éléments nutritifs des profondeurs du sol.

Dans la nature ou dans les jachères de légumineuses arbustives, les litières sont assez épaisses pour protéger le sol de la battance des gouttes de pluies, maintenir une bonne structure et une forte activité biologique, une infiltration satisfaisante et limiter l'érosion. Par contre la présence des arbres à racines profondes peut augmenter l'évapotranspiration réelle et assécher les nappes profondes.

Enfin les arbres produisent toutes sortes de biens tels que des médicaments, des fruits comestibles, de l'énergie (bois de feu ou fruits énergétiques comme celui du Jatropha). Sa transformation en charbon de bois peut améliorer les propriétés de stockage des nutriments dans les horizons des sols sableux.

Influence de l'agroforesterie sur l'érosion hydrique et la restauration de la productivité des sols ferrallitiques acides du Rwanda

Dieter KÖNIG

Département de Géographie, IfIN, Universität Koblenz
Universitätsstraße 1, D-56070 Koblenz, R.F.A. e-mail : dkoenig@uni-koblenz.de

Résumé

Depuis 1985, différents systèmes agroforestiers ont été testés sur l'érosion et l'amélioration de la productivité des sols sur le Plateau Central Rwandais. Les études ont été menées sur un sol ferrallitique fortement dégradé, très acide (pH < 4) et pauvre en éléments nutritifs. Les conditions agro-écologiques peuvent être caractérisées par une altitude de 1.700 m, une précipitation annuelle moyenne de 1.280 mm (régime bimodal) et une température annuelle moyenne de 20°C. Les parcelles ont été cultivées selon les méthodes de l'agriculture écologique agroforestière. Ses éléments principaux sont: l'intégration des arbres et des haies dans les parcelles de cultures, la mise en place de cultures associées, la substitution de la jachère par l'emploi d'engrais verts, l'intégration de l'élevage dans le système de culture, le recyclage de la biomasse dans un cycle presque fermé et l'intégration des mesures pour la conservation des eaux et des sols.

Malgré une érosivité des pluies relativement faible (facteur R d'après WISCHMEIER et SMITH autour de 350) on a constaté une érosion énorme sur les parcelles non protégées (468 t/ha/an sur sol nu (avec un ruissellement autour de 15 % des précipitations annuelles) et 245 t/ha/an sous manioc (ruissellement environ 9 %) sur une pente de 28 %. Sous ces conditions, l'intégration des arbres et surtout des haies de *Calliandra calothyrsus*, plantées en lignes isohypses, permettent une réduction de l'érosion et des pertes en matière organique et en éléments nutritifs, à un niveau «tolérable» (1-3 % des valeurs initiales). Par l'intégration des arbres et des arbustes dans le système de production agricole, l'agroforesterie permet une haute production en biomasse même sur des sites dégradés. Des relevés dendrométriques qui ont été fait pour 32 différentes espèces d'arbres plantées en novembre 1985 montrent que les meilleurs résultats ont été obtenus avec les arbres autochtones *Maesopsis eminii* et *Polyscias fulva*. Si les arbres exotiques (p. ex. *Grevillea robusta*, *Cedrela serrata*) montrent une bonne croissance initiale, les espèces autochtones sont, à la longue, plus productives et concurrencent moins les cultures vivrières. L'agriculture agroforestière contribue non seulement à la sauvegarde de la fertilité des sols, mais aussi à son approvisionnement en azote et en matière organique. Néanmoins, les méthodes biologiques seules ne sont pas capables d'améliorer la fertilité du sol sur des sites déjà fortement dégradés. Pour rétablir la fertilité de ces sols, un apport supplémentaire en éléments nutritifs qui ont été emportés par l'érosion et par exportation des cultures pendant des décennies est inévitable. L'article présente les effets positifs d'une application des cendres volcaniques et du travertin sur le rendement des cultures vivrières dans des systèmes agroforestiers.

Mots clés : Agroforesterie, Conservation des sols, Amélioration de la fertilité des sols, Agriculture écologique, Rwanda

Abstract

In densely populated areas in Rwanda, soil erosion and degradation are severe threats to agriculture. In this situation, agroforestry can help to achieve a sustainable agricultural production ("ecofarming"). Agroforestry systems also play an important role in climate change mitigation by storing important quantities of carbon (10-20 t C/ha, which is equivalent to 35 to 70 t CO₂/ha). Based on measurements of runoff and soil losses, of biomass production and nutrient fluxes, the author resumes more than twenty years of research experience from Projet Agricole et Social Interuniversitaire (PASI) at Butare, Rwanda (1700 m a.s.l., mean annual rainfall: 1280 mm, mean temperature: 20° C) on a severely degraded ferralitic soil (pH 4).

Keywords: Rwanda, Agroforestry, sustainable land use, soil conservation, alley cropping, ecofarming

1. Introduction

L'article donne un aperçu des études menées au sein d'un système agroforestier au Rwanda depuis 1985. Les expériences ont été faites à Butare au Sud du Plateau Central Rwandais sur un sol ferrallitique fortement dégradé, qui est très acide (pH 3,8 à 4) et pauvre en éléments nutritifs. Les conditions agro-écologiques peuvent être caractérisées par une altitude de 1700 m, une précipitation annuelle moyenne de 1280mm en dix mois (régime bimodal) et une température annuelle moyenne de 20°C.

Les parcelles sont cultivées selon les méthodes de l'agriculture écologique agroforestière qui essaie de lutter, par une approche intégrale du problème, contre l'érosion des sols et contre la dégradation de sa fertilité. Elle a pour but la régénération et la stabilisation de la fertilité du sol dans un système de production bien adapté aux conditions écologiques et humaines de la région. Ses méthodes se ramènent à des expériences paysannes autochtones dans des régions d'Afrique densément peuplées, ses éléments principaux sont: l'intégration des arbres et des haies dans les parcelles de cultures, la mise en place de cultures associées, la substitution de la jachère par l'emploi d'engrais verts, l'intégration de l'élevage dans le système de culture, le recyclage de la biomasse dans un cycle fermé et l'intégration des mesures pour la conservation des sols (KÖNIG, 1992).

2. Résultats

2.1. Érosion et conservation des sols

Malgré une érosivité des pluies relativement faible (facteur R d'après WISCHMEIER et SMITH autour de 350), on a constaté une érosion énorme sur les parcelles non protégées (plus de 400 t/ha/an sur sol nu et plus de 200 t/ha/an sous manioc sur une pente de 28 %). Dans ces conditions, l'intégration des arbres et surtout des haies de *Calliandra calothyrsus*, permet une réduction de l'érosion et des pertes en matières organiques et en éléments nutritifs, à un niveau « tolérable » (1-3 % des valeurs initiales, voir fig. 1). Des résultats comparables (120 à 250 t/ha/an sous cultures non protégées, 1 à 2 t/ha/an sur parcelles protégées par des haies vives) ont été obtenus à Rubona, à une distance de 15 km de Butare (ROOSE, NDAYIZIGIYE et SEKANYANGE, 1993 ; ROOSE et NDAYIZIGIYE 1996).

Les résultats sur l'érosion obtenus sur une parcelle agroforestière non-protégée par des haies (voir fig. 1) montrent que la seule introduction des arbres et des cultures associées ne suffit pas à réduire les pertes de terre à un niveau acceptable (57 t/ha/an sous *Grevillea*). Seulement l'intégration des haies de légumineuses fait de l'agroforesterie un système de production valable en vue de la conservation du sol. Grâce au développement rapide de ces haies, l'érosion a été réduite à moins de 12 tonnes par hectare et par an depuis la deuxième saison après leur plantation et à moins de 3 t/ha/an depuis la cinquième année après la plantation, c'est-à-dire à moins de 1,5% des pertes sur la parcelle témoin cultivée de façon traditionnelle.

Les résultats les plus encourageants (une réduction durable de l'érosion à 0,2 % des pertes mesurées sur la parcelle cultivée avec du manioc), ont été obtenus par la méthode d'alley-cropping sur des microterrasses d'une largeur de 0,5 m et d'un écartement de 5 m, plantées d'une ligne double de *Calliandra calothyrsus*.

Les lignes d'herbes, qui sont très efficaces pendant les deux premières années, perdent leur efficacité (et leur productivité) après quelques années. Par

contre, les haies de *Calliandra* – une fois installées – sont toujours très efficaces, même 20 ans après leur plantation.

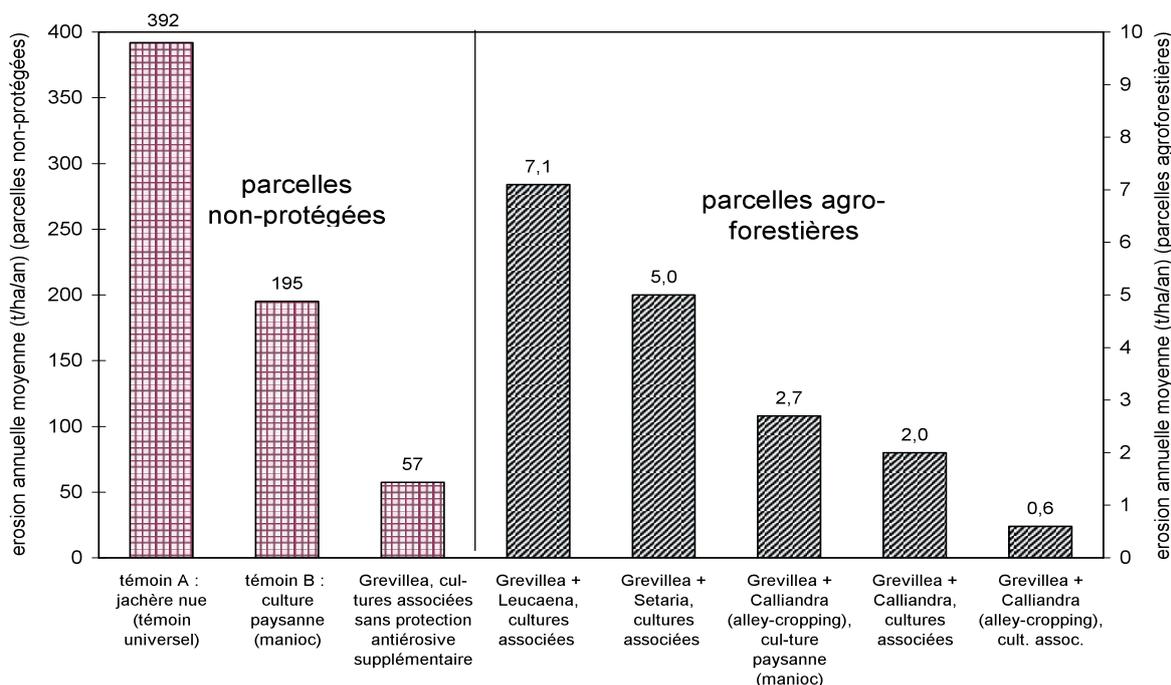


Fig. 1 : Erosion moyenne annuelle mesurée sur parcelles d'expérimentation de 100 m² de la 6^{ème} à la 9^{ème} année après l'installation des parcelles et du système agroforestier (PASI, Butare 1991/92 à 1993/94)

2.2. Production de biomasse et séquestration du carbone

Par l'intégration des arbres et des arbustes dans le système de production agricole, l'agroforesterie permet une haute production en biomasse même sur des sites dégradés. Puisqu'il existe très peu d'expériences sur l'intégration d'autres arbres que *Grevillea robusta* dans des systèmes agroforestiers, 32 espèces d'arbres ont été plantées en novembre 1985. Des relevés dendrométriques qui ont été fait à maintes reprises montrent que, à Butare, les meilleurs résultats ont été obtenus avec les arbres autochtones *Maesopsis eminii* et *Polyscias fulva* (fig. 2). Pendant que les arbres exotiques (p. ex. *Grevillea*, *Cedrela*) montrent une bonne croissance initiale, les espèces autochtones sont – à la longue – plus productives et concurrencent moins les cultures vivrières.

La production élevée des arbres garantit une séquestration du carbone importante. La transformation d'une parcelle agricole en système agroforestier permet une séquestration durable de l'ordre de 10 à 20 tonnes de carbone par hectare (ce qui correspond à 35 à 70 t de CO₂/ha). Dans cette estimation l'auteur ne considère pas encore les changements probables des teneurs en matière organique dans le sol et l'effet sur le bilan du carbone causé par la production du bois de chauffage sur place qui diminue fortement la dégradation des forêts avoisinantes.

En ce qui concerne l'intégration des arbustes, les meilleurs résultats ont été obtenus avec des haies de *Calliandra calothyrsus* plantées à un écartement de 0.5x5 m. Cela permet de produire jusqu'à 24 tonnes de biomasse par hectare et par an, dont 15 tonnes de feuilles, qui donnent un fourrage excellent. Les feuilles produites dans une haie de *Calliandra* (2000 m par hectare) coupée trois fois par an contiennent jusqu'à 105 kg de N, 47 kg de P₂O₅ et 26 kg de K₂O. La production de *Leucaena leucocephala* est inférieure à celle de *Calliandra*, qui est mieux adaptée aux sols acides et aux hautes altitudes. Ces remontées minérales biologiques sont du même ordre que celles observées par Roose et Ndayizigiye à Rubona (1996).

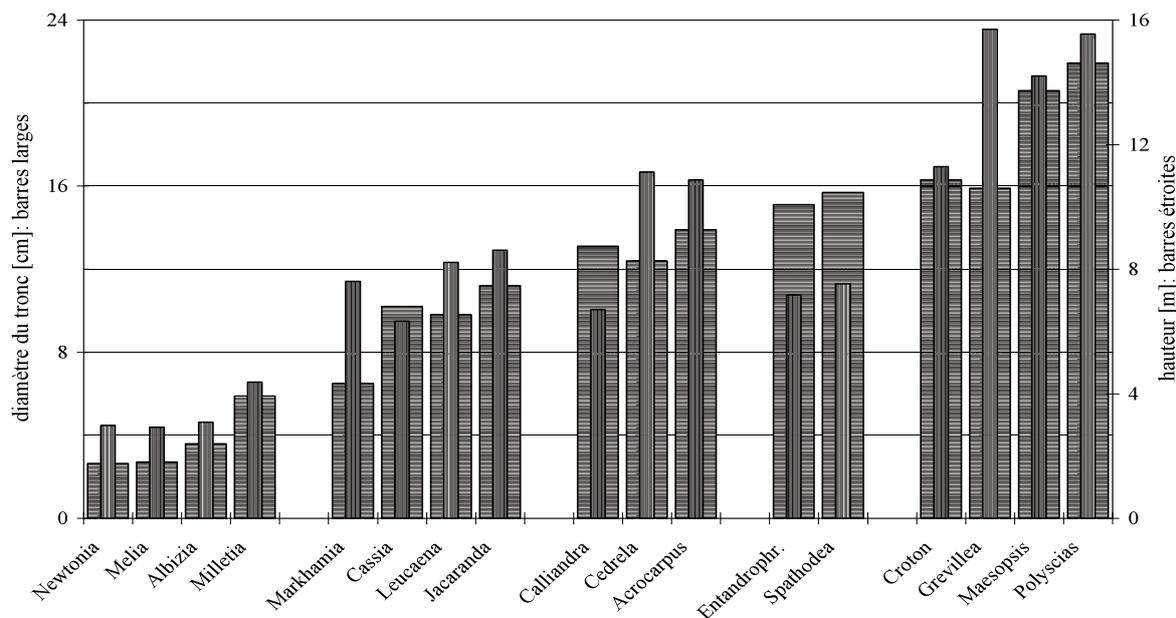


Fig. 2: Diamètre moyen et hauteur moyenne des arbres de 10 ans sur le terrain d'expérimentation du PASI ; le choix se limite aux espèces à forte présence

Malgré leur forte croissance initiale, les herbes produisent beaucoup moins de biomasse que les arbustes. Cinq ans après leur plantation, les lignes d'herbes anti-érosives (avec *Pennisetum purpureum* ou *Setaria splendida*) ont été fortement dégradées ou ont disparues, tandis que les haies arbustives restent très productives.

L'association « arbres + herbes » dans des « lignes antiérosives » est à déconseiller. Les effets de concurrence entre les herbes et les cultures vivrières et les arbres sont importants, surtout quand ces lignes d'herbes sont composées des espèces à croissance rapide comme *Pennisetum purpureum* ou *Tripsacum fasciculatum*. Il en résulte une croissance tardive des arbres et une forte diminution de leur production en biomasse. Même après la baisse de productivité des lignes d'herbes et la disparition de la majeure partie des rhizomes d'herbacées, la croissance des arbres continue à souffrir du manque d'éléments nutritifs. Ce résultat souligne l'importance d'études à long terme. L'intégration de lignes d'herbes dans les systèmes agro forestiers est souvent conseillée et justifiée en raison de la production de biomasse supérieure et son effet antiérosif. La baisse de la productivité et de l'effet conservatoire reste souvent méconnue, la période d'observation des travaux de recherche étant souvent limitée à moins de trois ans.

2.3. Amélioration de la fertilité des sols

L'agriculture écologique agroforestière permet une production durable; elle garantit la sauvegarde de la fertilité du sol à long terme. Les arbres et les haies de légumineuses contribuent au recyclage des éléments nutritifs et à l'approvisionnement du système en

carbone et azote. Par le compostage, la haute production en biomasse du système agroforestier peut être valorisée pour améliorer la production végétale.

Par contre, les méthodes « biologiques » seules ne peuvent pas rétablir la fertilité d'un site déjà dégradé : un apport minéral supplémentaire (P et souvent Ca, Mg et oligo-éléments) semble nécessaire. Ce résultat a été confirmé par les expériences de Ndayizigiye à Rubona (ROOSE, NDAYIZIGIYE et SEKANYANGE, 1993). La valorisation de la biomasse produite dans des systèmes agroforestiers est difficile. Selon nos expériences, la technique de l'engrais vert n'a pas la capacité de régénérer des sols dégradés. Malgré une production de biomasse de 18 à 25 tonnes par hectare, un engrais vert installé sans fumure améliorante (N et surtout Phosphore) reste souvent sans influence significative sur la croissance des cultures qui suivent. La fixation d'azote des légumineuses est entravée par les carences en éléments nutritifs (en particulier P) rencontrées dans le sol; la reprise trop lente des engrais verts traditionnels a eu pour conséquence de fortes pertes de sol même en deuxième saison culturale.

Une alternative beaucoup plus prometteuse aux engrais verts est le système d'alley-cropping qui est un système de « jachère simultanée ». Une haie isohypse de *Calliandra* ou de *Leucaena* - une fois installée sur 10 à 20 pour cent de la superficie totale de la parcelle - peut produire presque autant de biomasse par ha et par an que des engrais verts qui occupent toute la parcelle. Une haie arbustive de légumineuses n'est pas seulement plus facile à entretenir, mais aussi beaucoup plus efficace en ce qui concerne la fixation d'azote et le recyclage des éléments nutritifs. ***Néanmoins, une amélioration de la fertilité des sols déjà fortement appauvris en éléments nutritifs ne peut pas être atteinte par des méthodes biologiques seules : sur ces sols, une application des engrais minéraux semble indispensable.***

3. Conclusion

L'agriculture écologique agroforestière représente une stratégie efficace pour la conservation des sols. L'intégration des arbres (spécialement des espèces autochtones) et surtout l'intégration des haies de légumineuses dans des systèmes de production vivriers permettent à la fois de sauvegarder la fertilité du sol et de couvrir le besoin en bois d'une population croissante de la superficie agricole. En plus, elle contribue à une réduction de la dégradation des sols hors de la surface cultivée et à une séquestration du carbone importante au-dessus et dans le sol.

Néanmoins, une amélioration des sols déjà fortement dégradés et appauvris en éléments nutritifs ne peut pas être atteinte sans fumure minérale complémentaire (en particulier du phosphore). Vu les ressources très limitées du pays, la conservation des sols une fois améliorée et surtout la sauvegarde de la fertilité des sols toujours productifs par des méthodes biologiques est indispensable.

Bibliographie

KÖNIG, D., 1992. L'agriculture écologique agro-forestière - une stratégie intégrée de conservation des sols au Rwanda. Bull. Réseau Erosion, IRD-Montpellier, 12 : 130-139.

ROOSE, E., F. NDAYIZIGIYE et L. SEKANYANGE, 1993. L'agroforesterie et la GCES au Rwanda. Comment restaurer la productivité des terres acides dans une région tropicale de montagne à forte densité de population ? Cahiers Orstom, Pédol., 28, 2 : 327-349.

ROOSE E., NDAYIZIGIYE F., 1996. Agroforestry and GCES in Rwanda. Soil Technology, 11, 1 : 109-119.

Performances de certaines légumineuses arbustives : station INERA de Kipopo, République Démocratique du Congo

Jean-Pierre Jos MULAMBA
INERA Kinshasa : apukumul@yahoo.fr

Résumé

Aux alentours de la ville de Lubumbashi, la végétation est une savane arbustive en voie de disparition suite au système d'exploitation combinant la culture itinérante, la coupe de bois de construction et les feux de brousse annuels. Pour faire face à la diminution de la productivité des sols et aux besoins en bois des zones urbaines on a eu recours à la plantation de ligneux à usages multiples. Au système traditionnel (culture itinérante), on a comparé la culture en couloir de maïs entre des haies de deux variétés de *Leucaena* (*leucocephala* et *diversifolia*) et une variété d'*Acacia angustissima*. Compte tenu de son importance alimentaire dans la région, le maïs a été retenu comme indicateur de la fertilité du sol. Les *Leucaena* ont produit en un an 3,21 t/ha/an à 3,96 t/ha/an de biomasse pendant que l'*Acacia* en produisait 10,04t/ha/an. La production de maïs dans le système en couloir atteint 4,78 t/ha au lieu de 4,59 t/ha sur le témoin. On voit qu'en plus de l'engrais vert, ces légumineuses permettent des rendements très honorables en maïs sur des sols ferrallitiques pauvres.

Mots clés : RDC Congo, production de biomasse, *Leucaena*, *Acacia*, maïs

1. Introduction

La station de recherche de l'INERA à Kipopo, est située à 25 km de la ville de Lubumbashi (11°34'S et 27°24'E, 1.600 m d'altitude). La moyenne annuelle des pluies enregistrées oscille autour de 1.250 mm. Le climat est du type Cws selon la classification de Köppen, les températures moyennes mensuelles atteignent 16 à 18° pour les mois les plus froids, et de 20 à 23° pour les mois les plus chauds, avec une période sèche de 7 mois allant d'avril à octobre.

Le soubassement géologique de la région d'Elisabethville (Lubumbashi) est rattaché au Précambrien recouvrant les terrains du complexe de base. La région se retrouve placée sur une nappe de minerais. Le système schisto-dolomitique débute par l'étage de Roan suivi de la série des mines fortement minéralisées par des dépôts de cuivre, cobalt, uranium et, lors de minéralisation ultérieure de cuivre, zinc, plomb, argent, cadmium durant l'orogénie kundelunguinéenne. La série supérieure dite de Mwashya clôture l'ère précambrienne. Sur la carte des terrains superficiels de la région on peut distinguer trois grands types de sols : les sols zonaux, les sols intra zonaux et les sols azonaux. Le sol de la station de Kipopo se retrouve dans la série des sols zonaux (Sys et Schmitz, 1959).

La végétation est une savane arbustive en voie de disparition suite à la pression démographique et autres actions anthropiques tels que la culture itinérante, la coupe de bois de feu et les feux de brousse (Sys et Schmitz, 1959). La productivité des sols diminuant autour des villes et le prix des engrais étant hors de portée des petits paysans, il est alors nécessaire de mettre en œuvre des mesures biologiques pour rétablir et maintenir la productivité des sols. L'agroforesterie peut jouer un rôle important, car l'intégration des ligneux dans les systèmes agricoles permet de conserver la structure et la fertilité du sol, et de procurer une gamme de

produits ligneux et non ligneux tels que des fourrages en saison sèche, le bois de feu, et le bois de service (L'agroforesterie aujourd'hui, janvier – mars 1989).

Les résultats obtenus dans d'autres environnements des pays tropicaux ont révélé que la biomasse produite par les arbustes fixateurs d'azote peut être utilisée pour améliorer le rendement des cultures par rapport au système traditionnel et pour la restauration de la fertilité des sols (Kang et Reynolds, 1989 ; Roose, Ndayizigiye, Sekayange, 1993 ; Koenig, 2006).

Cette étude présente les résultats d'un essai de culture en couloir localisé entre les rangs de légumineuses arbustives, 12 mois après la plantation.

2. Matériels et méthodes

Les légumineuses utilisées dans l'étude sont : *Leucaena leucocephala* var K8, *Leucaena diversifolia* var K156 et *Acacia angustissima* Klutz. Les semences ont été fournies par le "Programme national de Maïs", situé à Lubumbashi. Les graines des arbustes ont subi un prétraitement avant le semis, dans de l'eau chaude pendant une minute. Le lit de semis était constitué de sols forestiers bien tamisés dans des sachets en polyéthylène bien remplis. La germination est évaluée pour les lots de semences à plus de 75%. La plantation a été faite 40 jours après la germination. Chaque espèce arbustive a été plantée dans une allée composée de deux haies de 8 m de long et 3,5 m entre les haies et de 0,5 m sur les haies. La culture intercalaire est pratiquée dans toutes les parcelles conformément au dispositif en place avec 16 parcelles dont 12 parcelles avec arbustes et 4 autres sans arbustes. Le maïs est utilisé en association avec les arbustes et en monoculture dans les autres parcelles. L'apport en engrais s'est fait avec de l'engrais composé NPK (14-14-14) localisé au pied des plants 15 jours après le semis et de l'engrais simple Urée au 30^{ème} jour après le semis à l'ordre de 10g par pied, c'est une fertilisation localisée. Ceci constitue un apport préliminaire sur toutes les parcelles afin de ne pas perdre les frais engagés pour la main d'œuvre pour l'entretien du dispositif. L'expérience a eu lieu en blocs complets randomisés avec 4 répétitions. La croissance (diamètre et hauteur) des arbres et la production de biomasse ont été évalués 12 mois après la plantation. Après la mesure de la hauteur et le diamètre à 50 cm du niveau du sol, les plantes ont été récoltées et le poids de la biomasse enregistré.

3. Résultats et discussions

Les résultats de la croissance et de la production de biomasse ligneuse (feuille et rameaux) sont repris dans le tableau 1, et ceci 12 mois après la plantation. Les différences entre les espèces sont élevées pour ce qui est de la biomasse, bien que la croissance est statistiquement semblable pour les trois espèces, toutefois on note une tendance d'amélioration de la croissance de *Leucaena diversifolia* avec un diamètre de 2,3cm, comparé avec *Leucaena leucocephala* et *Acacia angustissima* de 1,9cm et 2,2cm respectivement.

Le tableau n°2 reprend la production du maïs dans les parcelles sous arbre et en monoculture considérées comme témoin..

Tableau 1 : Moyenne des taux de croissance et poids de matière verte par espèce 12 mois après la plantation

N°	Espèces	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Biomasse (kg)/parcelle	Biomasse t/ha
1	<i>Leucaena leucocephala</i>	1,9	2,7	9,0	3,214
2	<i>Leucaena diversifolia</i>	2,3	3,3	11,1	3,964
3	<i>Acacia angustissima</i>	2,2	3,6	28,1	10,035
Moyenne		2,1	3,2	16,0	
C.V. (%)		13,9	16,7	39,0	39%

On constate au tableau 1 que le diamètre et même la hauteur des arbustes varient peu pour ces trois espèces. Par contre la production de biomasse est semblable pour les *Leucaena* (9 et 11kg) mais nettement supérieure pour *Acacia angustissima* (28kg), tel que confirmé par le test de Neuman – Keuls. Aucune maladie ni attaque d'insecte n'a été observée pendant la période d'étude.

La recherche sur les cultures en couloir est relativement nouvelle à Kipopo, comparativement à une longue expérience dans d'autres pays (Nigeria). Les résultats de Kipopo peuvent être appliqués dans des aires de conditions écologiques similaires, par exemple dans le Haut Katanga, en République Démocratique du Congo. Dans le système agroforestier, il procure à la fois des productions et des services : les plus importantes productions sont généralement le bois de feu, le fourrage et les fruits. Pour ce qui est des services la première place revient sans aucun doute à la conservation et la restauration des sols.

Les trois espèces présentent des différences et des potentialités intéressantes. L'*Acacia angustissima* peut être utilisé dans la restauration des sols pour sa grande production de la biomasse, il est également adapté aux sols acides et infertiles, tolérant à la sécheresse, il conserve son feuillage vert au cours de la longue saison sèche de la région (7 mois), et servira comme source de fourrage pour cette période.

Le *Leucaena leucocephala* est apprécié principalement comme engrais vert, fourrage et pour le contrôle de l'érosion. En association, l'*Acacia angustissima* et le *Leucaena diversifolia* peuvent être utilisés comme une alternative à l'espèce *Leucaena leucocephala*, car ils sont résistants à *Leucaena psyllid* (*Heteropsyllid cubana*). Il reste à étudier le potentiel d'hybridation de *Leucaena*, par exemple *Leucaena palida* et *Leucaena diversifolia* comme une alternative à l'espèce *Leucaena leucocephala* très attaquée par l'insecte *Heteropsylla cubana*.

Tableau 2 : Poids du maïs sec à 12% d'humidité

REPETITION	TRAITEMENT			
	A. a. t/ha	L. d. t/ha	L. l. t/ha	S. a. t/ha
I	4,821	5,436	2,100	4,543
II	5,007	5,443	4,486	8,927
III	5,579	6,136	5,179	3,475
IV	3,071	4,400	4,779	3,864

Légende : L. l. (*Leucaena leucocephala*), A. a. (*Acacia angustissima*),
L. d. (*Leucaena diversifolia*), S. a. (*Sans arbuste*)

Tableau 3 : Analyse de la Variance au seuil de 0,05

Source de variation	d. l.	Somme des carrés	Moyenne de somme des carrés	Test F	Probalité F
Bloc	3	8,377	2,792	2,26	
Traitement	3	10,305	3,435	2,78	0,102
Résiduel	9	11,105	1,234		
Total	15	29,788			
Moyenne des Traitements					
Traitement		L. l.	L. d.	A. a.	S. s.
		6,041	4,841	4,465	3,839

Les rendements sont mesurés sur l'ensemble de la parcelle, y compris l'espace situé sous les arbres. Pour les parcelles sous arbres, la superficie occupée par le maïs est de 28 m², tandis que dans les parcelles sans arbres, la superficie sous culture est de 56 m². Telle que reprise dans le tableau 2, la production de maïs dans les deux cas n'a pas présenté de différence significative après analyse statistique confirmée par le test F, avec un score de **4,78T/ha versus 4,59T/ha** respectivement.

Au regard de ce résultat statistique il y a lieu de constater que les meilleures productions sont réalisées dans les parcelles pourvues d'arbres, on notera 6,041 et 4,841t/ha/an pour le *Leucaena leucocephala* et *Leucaena diversifolia* respectivement, 4,465t/ha/an pour l'*Acacia angustissima* versus 3,839t/ha/an pour les parcelles sans arbustes ; qui au départ n'était qu'une curiosité scientifique, révèle les potentialités réelles que renfermeraient les ligneuses arbustives fixatrices d'azote atmosphérique dans un système de cultures en couloirs. On ne sera pas loin d'affirmer que ces résultats confirment une théorie selon laquelle les racines des arbres puiseraient des éléments provenant de l'altération de minéraux contenus dans les horizons B/C du sol et les introduiraient dans le système de recyclage par un dépôt en surface sous forme de litière. Ces deux rendements démontrent qu'au-delà de l'apport de l'engrais minéral substantiel dans les zones des cultures, le maïs produit dans le couloir aurait subi une influence des arbustes à usage multiple fixateurs d'azote atmosphérique, dans la mesure où cette composante dans les systèmes d'association culture et arbuste peut accroître l'apport d'éléments fertilisants provenant de l'atmosphère et des horizons B et C du sol

Conclusions

Les travaux de recherche de cultures en couloir doivent être soutenus : ils montrent que c'est une solution de substitution pour les paysans, qui souvent se trouvent confrontés aux problèmes pécuniaires pour l'achat de l'engrais minéral.

Au-delà de la fertilisation du champ avec l'engrais vert, le paysan a une valeur ajoutée par la production de bois de service et de bois d'œuvre, de fourrage pour l'alimentation du bétail pendant la période de soudure.

Les espèces arbustives fixatrices d'azote atmosphérique étudiées à la station de recherche de Kipopo (*Leucaena Leucocephala* var *K8*, *Leucaena diversifolia* var *K156*, et *Acacia angustissima* Klutz) sont prometteuses chacune prise isolément, pour la croissance ou pour la production de biomasse. Les études seront poursuivies pour déterminer les valeurs inter et intra spécifiques pour les espèces vivrières.

Références :

1. **Kang, B.T. et Reynolds, L.** 1989. Alley farming in the humid and subhumid tropics : proceedings of an international workshop held at Ibadan, Nigeria, 10-14 march 1986. International Development Research Centre, Ottawa, Canada, 251 pages
2. **Koenig D.**, 2006. De l'agroforesterie traditionnelle à l'agriculture écologique moderne. Stratégies pour la conservation de la fertilité des sols des Hautes terres de l'Afrique de l'Est. In « *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides* » E. Roose, J. Albergel, G De Noni, A. Laouina, M. Sabir, eds. Scientifiques. AUF, IRD, ENFI, EAC, eds, Paris, 402 p
3. **Roose E., Ndayizigiye F., Sekayange L.**, 1993. L'agroforesterie et la GCES au Rwanda. Comment restaurer la productivité des terres acides dans une région tropicale de montagne à forte densité de population. *Cah.ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 327-349.
4. **Sys, C. et Schmitz, A.** 1959. Carte des sols et de la végétation du Congo-Belge et Ruanda-Urundi, Région d'Elisabethville (Haut-Katanga), notice explicative. Publication de l'INEAC, Bruxelles, Belgique.
5. L'agroforesterie aujourd'hui janvier – mars 1989, volume 1, numéro 1, ISSN 1015 – 3225, ICRAF, Nairobi (Kenya)
6. **Gutteridge R.C. and H.M., Shelton**, 1994. Forage tree legumes in tropical agriculture, pp 389, CAB International, Wallingford, Oxon ox108DE, UK

Les avantages environnementaux et socio-économiques d'un reboisement de 8.000 hectares sur le Plateau des Batéké, Kinshasa, République Démocratique du Congo

Nicolas SHUKU ONEMBA, M sc.

Courriel : nicolasshuku@gmail.com

Résumé

Ce mémoire reprend les avantages sur le plan environnemental et socio-économique d'une forêt plantée grâce au financement de l'Union Européenne sur le Plateau des Batéké.

Ce projet dont l'objectif principal était d'approvisionner la ville de Kinshasa en combustibles ligneux de bonne qualité a eu des incidences positives sur l'environnement et sur la vie socio-économique des villageois et citoyens.

Sur le plan environnemental, la forêt artificielle ainsi réalisée par plantation, principalement à base de *Acacia auriculiformis* et de quelques *Eucalyptus sp.p.* a influé positivement le micro-climat de la région. Elle a permis aussi d'enrichir le milieu sur le plan de la biodiversité, en permettant le développement de nombreuses espèces végétales d'ombrage et en constituant un refuge pour certaines espèces animales. La structure des sols a également été enrichie grâce à l'apport de matière organique et d'azote fixé par la légumineuse plantée.

Sur le plan socio-économique, l'accent est mis sur l'implantation des infrastructures indispensables au développement socio-économique de cette région (route d'accès, village, etc..) et sur la sédentarisation de l'agriculture et des villages.

Mots clés: Congo RDC, combustibles-ligneux, environnement, plantation, sol, reboisement, micro-climat.

Abstract

This paper takes the advantages from an environmental and socio-economic development of a forest planted with funding from the European Union on the Bateke Plateau.

This project whose main objective was to supply the city of Kinshasa in good quality fuel-wood has had a positive impact on the environment and the socio-economic life of the villagers and townspeople.

On the environmental front, the artificial forest and carried out with the planting of trees of mainly *Acacia auriculiformis* and few *Eucalyptus sp.p.* has positively influenced the micro-climate of the region. She also helped to enrich the environment in terms of biodiversity by enabling good development of many plant species shading and building a shelter for some animal species. The soil structure has also been enriched by the contribution of organic matter and nitrogen fixed by legume planted.

On the socio-economic emphasis is placed on the establishment of essential infrastructure for socio-economic development of this region (access road, village, etc.), the settling of agriculture and villages.

Keywords: Congo RDC, fuel-wood, environment, planting, soil, reforestation, micro-climate.

1. Introduction

Cette étude présente les avantages que peut procurer une forêt plantée par l'homme dans le but de résoudre un ou plusieurs problèmes que rencontre une communauté humaine, sur le plan environnemental et socio-économique. Ces avantages sont tirés d'un projet de reboisement réalisé dans la ville de Kinshasa, grâce au financement de l'Union Européenne alors Communauté Économique Européenne (C.E.E) pour un montant de 12.000.000 d'ECUS¹.

1.1. Potentiel forestier de la République Démocratique du Congo

Troisième pays d'Afrique par son étendue², la RDC couvre une superficie évaluée à 234,5 millions d'hectares dont 177,6 millions (75,7 % de la superficie totale du pays) sont occupées par des forêts denses et des forêts claires. La distribution naturelle de ces ressources est fonction des conditions climatiques, avec par endroits des variantes édaphiques et des modifications liées à la topographie et à l'altitude.

La superficie forestière de la RDC représente environ 10 % des forêts denses de la planète (troisième rang) et 97 % des forêts africaines avec plus de 708 essences exploitables.

2. Projet de reboisement 8.000 hectares sur le Plateau des Batéké

2.1. Historique

La crise de l'énergie domestique a commencé dans la ville de Kinshasa dans les années 1980³.

Avec ses 3,5 millions d'habitants, la ville de Kinshasa avait, en 1987, un besoin calculé de 200.000 T/an de charbon de bois et l'on prévoyait ses besoins à environ 600.000 T/an en 2002, vu l'accroissement de la population qui était alors estimée à 12 millions d'habitants.

Pour satisfaire ses besoins en combustibles ligneux, la population avait déjà ravagé la majorité des forêts galeries, ainsi que les quelques reliques de la forêt naturelle et ce, dans un rayon de plus de 100 km de la Capitale. Cette déforestation avait été suivie par une culture itinérante sur brûlis qui avait épuisé les sols en les laissant, après la mise en culture, à peu près impropres à l'agriculture.

Enfin, devant la pénurie en combustibles ligneux, le prix⁴ du bois de feu et surtout du charbon de bois augmentait plus vite que celui des autres produits, tandis que la qualité de bois de feu et/ou du charbon de bois utilisé était de moins en moins bonne.

2.2. Projet de reboisement 8.000⁵hectares sur le Plateau des Batéké

Une étude de faisabilité d'un projet de reboisement de 100.000 hectares pour approvisionner la ville de Kinshasa en combustibles ligneux a été financé par le Fonds Européen de Développement (FED), en 1987

¹ CATEB(1997). Rapport annuel,

² Franck Bisiaux *et al* (2009). Plantations industrielles et agroforestières au service des populations du Plateau Batéké, Mampu, RDC. In revue Bois et forêt des Tropiques, n°301(3), pp ;21-31.

³ Rapport annuel de la commission nationale de l'énergie 1997.

⁴ Nicolas Shuku Onemba(2000). « L'énergie-bois » dans la commune de Lemba : approvisionnement ; commercialisation et consommation.in revue. Le Cahier de l'Institut Supérieur de la Gombe. N°10, série A. Kinshasa. RDC, pp. 46- 58.

⁵ <http://radiookapi.net/emissions-audio/2009/04/13/kinshasa-relance-des-activites-agroforestieres-au-plateau-des-bateke/>, consulté le 15 mars 2010

Suite à cette pré-étude, le Fonds Européen de Développement a décidé de financer, d'abord, une première tranche-pilote de 8.000 hectares de plantation. Ainsi, fin 1987, des études de sol et de coût de boisement ont été réalisées par le bureau d'études Zaïre Trading and Engineering (ZTE) et l'appel d'offres international lancé au cours de la même année a permis à la société Néerlandaise Hollande Agro-Industries b.v (HVA) de gagner le marché de réalisation du projet de boisement de 8.000 hectares. Le coût de ce projet de reboisement était de 12.000.000 d'Ecus.



*Vue du reboisement en *Acacia auriculiformis*, sur le Plateau des Batéké. (Photo R. Peltier)*

2.3. Environnement physique⁶

Localisation	Le Plateau des Batéké commence à 80 km au Nord-Est de Kinshasa. A l'Ouest, il est longé par le fleuve Congo. Presque tout le périmètre se trouve dans la région administrative de Kinshasa, sauf l'extrême Sud-Est qui est situé dans la Province de Bandundu.									
Climat	Stations météo	Altitude	Pluviométrie annuelle			% des pluies totales tombant pendant la période octobre-mai	Températures			Classification
			Moyenne	Minima	Maxima					
	Kinzono Mbali	700 m	1470 mm	1360 mm	1680 mm	94 %	Moy. 25°	Min. 16°	Max. 34°	AW : Climat tropical chaud avec une saison sèche de 4 mois (fin mai-fin septembre)
Sols (1)	Géologie		Profils			Texture	Fertilité			Autres commentaires
	Les matériaux du Plateau sont constitués de sables et de sables limoneux de la série du système du Kalahari (grès tendres, sables blancs et grès polymorphes).		Type AC avec accumulation dans les couches supérieures (M.O. = 1,3% en surface et 0,5 % en profondeur)			Variable Dans le Sud : sables fins avec 2 ou 3% d'argile. Vers le Nord : sablo-argileuse. Dans les parties septentrionales : sables fins avec 5 à 12% d'argile.	PH de 5,0 à 5,6. Sols généralement de faible fertilité.			Sols fragiles dans les parties peuplées. Déboisement intense.

⁶Station météorologique de Kinzono Mbali 1993

Topographie (2)	Un vaste plateau entaillé de vallées raides et très profondes (dans la partie méridionale) et de vallées moins encaissées (dans la partie septentrionale). Les vallées plus importantes (Lufimi, Mbali inférieure et Kwango) sont creusées à 200-350 m sous le niveau général du Plateau.			
Végétation	Savane arbustive	Savane herbeuse	Galeries forestières	Autres particularités
	Dans le Nord, assez dense <i>Hymenocardia acida</i> est encore dominant. Parmi les autres espèces, il y a <i>Erythrina tomentosa</i> et <i>Cussonia angolensis</i>	Occupe la partie sud. Prédominance sables fins à taux d'argile très faible. Elle se caractérise par <i>Loudetia arundinacea</i> .	Elles occupent les vallées principales des rivières Mbali, Mwana, Kwango et Lufimi, les espèces caractéristiques sont <i>Milletia</i> , <i>Uapaca</i> et <i>Xylopia</i> .	Le long des rivières, on rencontre souvent des zones marécageuses. Une savane de transition occupe le centre.
Ressources en eau	Le Plateau a une vocation pastorale certaine du point de vue agrostologique, mais il y a un problème sérieux en ce qui concerne le ravitaillement en eau. Bien que le réseau hydrologique soit dense (100 km), le régime semi-permanent d'une bonne partie des rivières n'a pas permis l'installation d'une population assez dense. L'eau souterraine existe. Le problème étant d'en déterminer la localisation et les caractéristiques d'exploitation. Les rivières ci-après présentent un certain intérêt pour l'alimentation en eau : Lufimi (+/- 4 m ³ /sec),Vue (+/- 0,3 m ³ /sec),Mut (+/- 0,3 m ³ /sec), Malu (0,005 m ³ /sec).			

2.4. Réalisations du projet

Trois réalisations importantes sont à mettre à l'actif de ce projet, à savoir :

- La plantation de 7.200 hectares et la construction des infrastructures sociales.
- L'agroforesterie.
- La carbonisation.

a) Plantation d'arbres

Le projet avait programmé de réaliser 8.000 hectares de plantation d'arbres. Mais, malheureusement, la réalisation effective s'arrêta à 7.200 hectares à cause des troubles politiques de 1990

- Pépinière

Une pépinière d'une capacité de production de 6.000.000 de plantules par an était aménagée sur le site même du projet afin de faciliter les travaux de plantation et de s'assurer de la production et de l'utilisation des plantules de bonne qualité.

Les plantules étaient produites pendant la saison sèche (fin-mai, début juin) afin de leur permettre d'atteindre la taille indiquée pour la transplantation (30-35 cm) dès le début de la saison pluvieuse.

- Préparation du terrain

Les travaux de préparation de terrain (labour, hersage, dessouchage, etc.) se réalisaient à l'aide d'engins lourds (rotavateurs et/ou rotadairons, hermes et chaînes tractés), essentiellement pendant la saison sèche et un mois avant la plantation des arbres.

Les étendues des terres labourées étaient étroitement liées aux superficies à couvrir par la plantation au cours de la saison. Ainsi, une superficie minimale de 20 km² des parcelles à reboiser (sans compter les pare-feux) était labourée annuellement afin de permettre la plantation de 2.000 hectares.

- Plantation + Ecartements

La plantation se faisait essentiellement pendant la saison pluvieuse. Elle démarrait à la mi-octobre (grande saison des pluies) et se poursuivait jusqu'à la mi-ou fin février (petite saison des pluies).

Les plantules à mettre en terre devaient avoir un bon port et atteindre une hauteur d'au moins 30 à 35 cm.

Le transport des plantules se faisait mécaniquement à l'aide des remorques à étages tractées, tandis que la mise en terre, quant à elle, était réalisée manuellement, grâce à l'importante main-d'œuvre qu'utilisait le projet

Plusieurs types d'écartements ont été utilisés par le projet (3m x 2m, 3m x 3m, 4m x 4m, etc.). Ainsi, le nombre des plantules mise en terre par hectare variait de 625 à 1110.

Enfin, la plantation d'arbres se faisait en parcelles de forme rectangulaire de 25 hectares chacune.

- Essences forestières utilisées

Deux essences forestières ont été utilisées par le projet pour la réalisation de 7.200 hectares de plantation. Il s'agit, pour la grande majorité de *Acacia auriculiformis* et de quelques parcelles et lignes d'eucalyptus, dont *E. camaldulensis*.

Ces essences ont été introduites sur le Plateau des Batéké par le projet « Centre Forestier de Kinzono » du Ministère de l' Environnement dans les années 1979 et situé à plus ou moins 8 km du projet FED. Elles avaient été sélectionnées à cause de leur rusticité, de leur croissance rapide ainsi que de la qualité de leur charbon de bois.

Les semences utilisées pour la production des plantules en pépinière provenaient, accessoirement de ce Centre et principalement d'Australie.

- Pare-feux

Des pare-feux ont été ouverts par labour avant la plantation des arbres, selon des largeurs allant de 6 m (entre les parcelles) et 12 m (entre les blocs). Ils servaient essentiellement à la protection des parcelles boisées mais aussi comme routes d'accès aux plantations (acheminement des plantules, contrôle des travaux , lutte contre les incendies, etc....).

Outre les pare-feux, la surveillance continue des parcelles boisées était assurée grâce aux tours de guet (4) construits aux quatre coins du périmètre.

- Main-d'œuvre

Pour la réalisation des travaux du projet, environ 300 (trois cents) personnes ont été engagées par l'attributaire et parmi elles, l'on comptait cinq à six expatriés travaillant à temps plein.

- Autres réalisations du projet :

D'autres infrastructures réalisées par le projet sont :

- Une route d'accès au projet de plus ou moins 20 km. et large de 12 m

Un camp des travailleurs comprenant les maisons d'habitation pour cadres, maîtrises et manœuvres avec piscine, château d'eau, groupes électrogènes, écoles, dispensaires, marchés, etc.

2.5. Essais d'Accompagnement Batéké (EAB)

Le Fonds Européen de Développement avait aussi financé, parallèlement au projet susmentionné, un deuxième projet intitulé « Essais d'Accompagnement Batéké (EAB)» pour un montant de 1.000.000 d'Ecus.

Ce projet comportait 4 volets principaux, à savoir :

1. Les essais de carbonisation
2. Les essais de coupe
3. Les essais d'agroforesterie
4. Les essais d'introduction de nouvelles essences forestières.

Les essais de carbonisation avaient consisté à l'utilisation de plusieurs types de fours, dont: les fours traditionnels (meule traditionnelle, meule traditionnelle améliorée) et les fours modernes (casamançais, brésilien, canadien, rabo-quete, etc.) et à la sélection de ceux qui donnaient un rendement élevé et dont le coût d'acquisition était abordable.

A la suite de ces essais, les fours métalliques (canadien, à anneaux) et traditionnel amélioré ont été sélectionné pour être diffusé à travers le territoire national.

Le bois coupé et carbonisé provenait des parcelles plantées en *Acacia auriculiformis* au Centre Forestier de Kinzono âgées d'une dizaine d'années.

Enfin, ces essais avaient connu la participation du Centre d'Adaptation des Technologies Energie-Bois (CATEB) du Ministère de l'Environnement, du secteur privé (charbonniers privés) et de la Faculté Agronomique de Gembloux en Belgique.

Les essais de coupe menés sous la supervision des experts de la faculté Agronomique d'Etat de Gembloux avaient pour but de tester plusieurs techniques de coupe de bois issu de la plantation de deux essences forestières susmentionnées et de proposer celles qui seraient mieux adaptées et plus rentables.

Ces essais n'ont malheureusement pas été menés jusqu'au bout pour des raisons déjà évoquées (pillage). Néanmoins, ces essais ont abouti aux recommandations préliminaires ci-après :

- l'utilisation de tronçonneuses de petite dimension (lame de 50 cm longueur) pour l'exploitation mécanique des arbres d'Acacia ;
- l'utilisation, pour des nouvelles plantations, des semences de l'Acacia à tige unique qui pousse naturellement dans certaines forêts australiennes.

Comme pour les deux premiers, les essais d'agroforesterie ont été aussi menés dans les parcelles plantées en *Acacia auriculiformis* au Centre Forestier de Kinzono et âgées d'une dizaine d'années. Ces dernières, ont d'abord été exploitées (le bois coupé récupéré pour les essais de carbonisation) puis mises en culture immédiatement après labour mécanique.

Pour mieux apprécier le fait enrichissant du sol en matière organique et en éléments minéraux par *Acacia auriculiformis* en tant que légumineuse, des essais de mise en culture ont été menés dans des parcelles anciennement plantées et dans la savane naturelle. Dans cette dernière comme dans les parcelles boisées, les jeunes plantules d'acacia repoussaient (régénération naturelle) et/ou étaient plantée à côté des cultures vivrières couramment pratiquées dans la région à des écartements variant entre 4mx4m et 4mx3m.

Le dernier volet du projet « EAB », à savoir l'introduction de nouvelles essences forestières n'a jamais démarré à cause des troubles politiques qui s'en étaient suivi.

2.6. Fondation Hanns Seidel (FHS)

Le programme mené par la FHS qui est inclus dans les 12 millions d'ECU, a eu pour effet d'implanter des exploitants formés à l'exploitation agroforestière durable sur l'ensemble de la plantation, à partir de 1994. Trois cent vingt (320) familles ont ainsi été installées et encadrées.

D'autre part, depuis 2009, la FHS participe avec de nombreux partenaires, à un nouveau projet européen (projet Makala) dont un des objectifs est de développer les techniques mises au point à Mampu, et de les adapter à la réalité de cinq villages du plateau Batéké.

3. Bilan des effets bénéfiques

Outre l'objectif « approvisionnement de la ville de Kinshasa combustibles ligneux de bonne qualité et à un prix abordable », d'autres avantages tirés de la réalisation de ce projet sont :

3.1. Sur le plan environnemental :

a) Ecologique.

L'introduction des nouvelles essences forestières dans la savane a certes perturbé légèrement l'écologie du milieu mais elle a beaucoup plus contribué à son enrichissement et surtout à sa transformation en une forêt capable de rendre d'innombrables services à la communauté.

Ainsi, les plantations réalisées dans le cadre du projet de reboisement de 8.000 hectares ont eu un effet positif sur le micro-climat de la région et partant sur le milieu. Elles ont permis le développement des espèces végétales et animales d'ombre, grâce à la couverture de l'espace aérien par l'important feuillage qu'elles ont produit. Ces plantations ont permis aussi à certaines espèces animales, qui avaient fui la région car intensivement chassée en savane, de

trouver ainsi un refuge sûr, étant donné que la chasse est interdite sur tout le périmètre reboisé.

Enfin, la plantation des arbres a permis l'apparition sur le site du projet de nombreuses espèces végétales ou animales comestibles, comme les chenilles riches en protéine animale, les champignons, les pousses d'ignames sauvages, etc.



Développement spontané d'ignames sauvages dans les plantations d'acacia (Photo R. Peltier)

b) Sols

Les échantillons des sols prélevés sous *Acacia auriculiformis* et sous *Eucalyptus sp.* et analysés au laboratoire de pédologie de Gembloux ont démontré que ces derniers ont été enrichis en éléments minéraux indispensables à la croissance et au développement des cultures vivrières. Aussi, ces sols, enrichis en matière organique présentent des concentrations en azote assez élevées, par rapport à la savane naturelle.

Outre l'enrichissement des sols du périmètre en matière organique et en éléments minéraux, la plantation d'arbres a permis de baisser légèrement l'acidité du sol et donc d'augmenter

le pH du sol et de limiter, de façon considérable, le mouvement du sable sur le périmètre du projet.



Après exploitation du boisement, récolte du charbon et brûlis superficiel des résidus, le sol est enrichi en matière organique, cendres et poussières de charbon, et de jeunes acacias repoussent qui seront associés aux cultures de maïs et de manioc, puis qui constitueront un nouveau peuplement (Photo R.Peltier)

c) Climat

Les fortes variations de certains facteurs climatiques, dont notamment la température, ont été atténuées grâce à la présence des arbres plantés. Ainsi, la température sous les arbres a considérablement baissé, rendant ainsi la vie plus agréable pour les habitants et les visiteurs. Quoique non encore vérifié à ce jour, l'on soupçonne déjà un probable effet positif des plantations sur d'autres facteurs tels que la pluviométrie.

d) Biodiversité

La plantation d'arbres a certainement enrichi le milieu en espèces végétales et animales diverses. Ainsi, plusieurs espèces végétales d'ombrage ou de sous-étage ont pu se développer sans problème grâce au couvert végétal. Il en est de même de certaines espèces animales qui avaient déserté le milieu à cause de la chasse effrénée et des feux de brousse incessants. Comme susmentionné, le milieu a été colonisé par plusieurs espèces de champignons, des chenilles, des rats de Gambie, comestibles par l'homme.

Enfin, la plantation d'arbres a contribué au développement des micro-organismes nécessaires au développement harmonieux de beaucoup d'espèces végétales.

En bref, la plantation d'arbres a enrichi la biodiversité du milieu boisé.

3.2. Socio-économiques

La forêt naturelle créée dont il est ici question, a eu des incidences positives sur la vie des populations, aussi bien riveraines que lointaines. Ainsi, le projet de reboisement de 8.000 hectares a non seulement permis la création des emplois au niveau de la région mais aussi l'implantation des infrastructures indispensables au développement socio-économique de cette région, telles que :

- la route d'accès qui a servi entre autre chose au désenclavement des villages situés autour du périmètre boisé ;
- le village moderne construit avec des matériaux durables comprenant une polyclinique, une école primaire, ainsi qu'une école secondaire, un marché, des lieux de culte, un terrain de foot, etc.

Il importe aussi de mettre à l'actif dudit projet les autres avantages qu'il apporte à la population riveraine, à savoir :

- la connaissance des nouvelles techniques de carbonisation. Ce projet a permis, grâce à la réalisation des essais de carbonisation, la dissémination en milieu paysan, des fours à rendement élevé par rapport à la meule traditionnelle. La technique de meule traditionnelle améliorée a permis, non seulement, de doubler la production de charbon de bois par cuisson, mais aussi et surtout d'améliorer la qualité du charbon de bois (moins d'impuretés). Ainsi donc, les paysans charbonniers ont vu leur revenu augmenter grâce à la vente d'un produit de meilleure qualité et en quantité suffisante (les fours métalliques, trop chers à l'achat et à l'entretien ont été abandonnés).
- L'augmentation des rendements cultureux grâce à la pratique agroforestière. Les essais d'agroforesterie menés dans le périmètre du projet de reboisement de 8.000 hectares ont permis de sélectionner et de diffuser, en milieu paysan, des meilleures combinaisons «essence forestière-culture vivrière» praticables à un moindre coût et donnant des rendements relativement élevés. Ainsi donc, le rendement de la culture du manioc est passé de 4 à 5 tonnes à l'hectare (culture pratiquée après retournement de la savane naturelle et sans engrais chimique) à 15-17 tonnes par hectare (culture associée manioc-Acacia sans usage d'engrais chimique).

En outre, l'augmentation des rendements cultures a entraîné *ipso facto* l'augmentation des revenus des paysans ; la culture « associée » a permis à ces derniers d'avoir un revenu additionnel, grâce à la vente du bois et/ou charbon de bois provenant de leurs plantations d'arbres.

Enfin, la création de cette agro-forêt a beaucoup contribué à la sédentarisation de certains villages de réfugiés ou de migrants et partant de l'agriculture itinérante sur brûlis. La possibilité d'offrir de la main-d'œuvre au projet, ainsi que l'accès aux soins médicaux gratuits, mais aussi à l'enseignement sont les facteurs qui ont été à la base de la fixation de ces populations villageoises.

Au niveau des populations urbaines, une forêt artificielle créée par l'homme comme celle qui nous intéresse dans cette étude, a eu des effets positifs sur la vie sociale au niveau de la Capitale Kinshasa. Ainsi, la population a eu accès à un charbon de bois de bonne qualité et à un prix relativement bas, mais aussi aux produits vivriers provenant de plus en plus d'une pratique agricole sans utilisation des engrais chimiques.

Enfin, la réussite des travaux de réalisation de ce projet a amené certains citadins à acquérir de des espaces inoccupés en milieu rural et à y créer leurs propres forêts artificielles ou forêts



Mise en sac du charbon et vente de manioc sur le périmètre de Mampu (Photo R. Peltier)

plantées et ce, dans l'espoir d'obtenir à leur tour des profits, grâce à la production de combustibles ligneux et de produits vivriers à un coût relativement bas.

Ce nouveau phénomène a été à la base de l'apparition des nouveaux villages autour de ces grands domaines boisés. Ces villages spontanés sont généralement constitués de citadins à la recherche de travail.

Sur le plan de la lutte antiérosive : la méthode culturale, l'usage des engrais verts et la rotation des parcelles à cultiver ont estompé l'érosion progressive dans le milieu. Les espaces savanicoles sont colonisés par la forêt, ce qui diminue l'effet de battance au sol et ralentit l'écoulement des eaux et le ruissellement.

4. Conclusion

La RDC dispose des vastes étendues forestières et d'un potentiel hydro-électrique important. Malheureusement, le faible pouvoir d'achat de la majorité de la population constitue un obstacle à l'acquisition d'équipement moderne pour la cuisson des aliments et d'autres besoins (éclairage, ventilation, etc.). A ce jour, cette population utilise plus des combustibles ligneux⁷ (bois de feu et charbon de bois) que l'énergie électrique pour satisfaire ses besoins. Pour la ville de Kinshasa, la création de cette forêt artificielle a permis non seulement d'approvisionner cette dernière en combustibles ligneux de bonne qualité mais aussi de réduire assez sensiblement la pression exercée par la population sur les quelques formations végétales existantes, tout en modifiant positivement le milieu et les conditions de vie de la population riveraine.

⁷ Nicolas Shuku Onemba (1993). L'énergie-bois dans la commune de Lemba : approvisionnement, commercialisation et consommation. Mémoire licence. Institut Pédagogique national. Kinshasa-Binza.

Bibliographie

1. **CATEB, 1997.** Rapport annuel, Ministère de l'environnement conservation de la nature et tourisme de la RDC
2. **Bisiaux F., Peltier R. et Muliele J-P., 2009.** Plantations industrielles et agro forestières au service des populations du Plateau Batéké, Mampu, RDC. *In* revue Bois et forêt des Tropiques, 301 (3) : 31-31.
3. <http://radiookapi.net/emissions-audio/2009/04/13/kinshasa-reliance-des-activites-agroforestieres-au-plateau-des-bateke/>, consulté le 15 mars 2010
4. **Shuku Onemba, N., 1993.** L'énergie-bois dans la commune de Lemba : approvisionnement, commercialisation et consommation. Mémoire licence. Institut Pédagogique national. Kinshasa-Binza.
5. **Shuku Onemba, N., 2000.** « L'énergie-bois » dans la commune de Lemba : approvisionnement ; commercialisation et consommation.in revue. *Le Cahier de l'Institut Supérieur de la Gombe*. N°10, série A. pp 46-58. Kinshasa. RDC
6. Rapport annuel de la commission nationale de l'énergie, 1997
7. Station météorologique de Kinzono Mbali, 1993

Effets de diverses jachères arbustives légumineuses sur l'amélioration de la conductivité hydraulique du sol et de sa productivité (Manankazo-Madagascar)

Marie Antoinette RAZAFINDRAKOTO

Professeur au Département Eaux et Forêts de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques.
Univ. d'Antananarivo – Madagascar BP 175 – Tél : (261) 34 064 94 87
E-mail : razafindrakotomar@gmail.com ou maria-razaf@refer.mg

Résumé

La région nord-ouest des Hauts plateaux de Madagascar présente des problèmes d'érosion importants dus à l'agressivité climatique élevée et à la dégradation de la végétation et des sols par les feux de brousse annuels. Il en résulte une baisse de la productivité des sols engendrant la pauvreté du monde rural.

Une recherche a été menée dans cette région afin d'évaluer l'efficacité de divers dispositifs agroforestiers de buissons de légumineuses pour l'amélioration de la conductivité hydraulique du sol et de sa productivité. Les espèces étudiées ont été : *Tephrosia vogelii*, *Flemingia congesta* et *Calliandra calothyrsus*. Les résultats ont montré que les jachères arbustives légumineuses de longue durée (en particulier l'espèce *Tephrosia vogelii*) ont réussi à accroître fortement la dynamique d'infiltration de l'eau dans le sol, engendrant la diminution importante de l'érosion et l'augmentation de la productivité des sols très dégradés. Cette technique intéressante pourrait être appliquée dans diverses régions tropicales afin de promouvoir le développement durable.

Mots-clés : Madagascar, infiltrabilité du sol, productivité, jachères arbustives légumineuses, pédofaune, prairie dégradée, forêt naturelle

Abstract

The northwest region of the High Lands of Madagascar presents important erosion problems due to the high climatic aggressiveness and the degradation of vegetation and soils by annual bushfires. That involves a decrease of the soil productivity generating the poverty of the peasants. A research has been carried out in this region in order to evaluate the efficiency of different types of leguminous shrubby fallows for the improvement of the hydraulic conductivity of soil and its productivity. The studied species were: *Tephrosia vogelii*, *Flemingia congesta* and *Calliandra calothyrsus*. Results showed that the leguminous shrubby fallows installed during 5 to 7 years (particularly the species *Tephrosia vogelii*) succeeded to increase highly the dynamics of water infiltration, generating the important reduction of the erosion on very degraded soils, and inducing the increase of soil productivity. These techniques can be applied in various tropical regions in order to promote a better development .

Keywords: Madagascar, soil infiltrability, productivity, leguminous shrub fallows, soil fauna, degraded meadow, natural forest

INTRODUCTION

Le problème du changement climatique actuel se manifeste par une forte agressivité des pluies dans les pays tropicaux, en particulier pour le cas de Madagascar où la végétation est détruite intensément par les feux de brousse annuels.

Dans la région nord-ouest des Hauts-Plateaux de Madagascar où l'érosivité pluviale est forte et la végétation très dégradée, réduite en steppe graminéenne, il se

produit une érosion importante des versants pentus à sols dégradés. Il en résulte une baisse de la productivité des sols aggravant la pauvreté du monde rural.

Une recherche a été menée dans cette région pour étudier l'effet de diverses techniques culturales antiérosives sur l'amélioration de la dynamique d'infiltration de l'eau dans le sol. Cette recherche a été effectuée dans le but de réduire l'érosion des champs de culture et de restaurer la productivité des sols.

Différents types de dispositifs agroforestiers à arbustes légumineux ont été installés pour évaluer et comparer leur efficacité pour améliorer la conductivité hydraulique du sol dégradé (pratiques de jachère et de culture en couloir). Le témoin de référence servant de comparaison est une prairie de steppe à *Aristida sp* à sols dégradés par les feux de brousse annuels.

1- MILIEU D'ETUDE ET METHODOLOGIE

1.1 Présentation du site d'étude

La zone d'étude choisie Manankazo est située dans la partie Nord-Ouest des Hauts-Plateaux de Madagascar. Elle se trouve sur le relief de Tampoketsa dont l'altitude varie de 1 565 m à 1 580 m.

C'est une zone à contextes climatique, pédologique et socio-économique défavorables aggravant la dégradation et l'érosion des sols.

Le climat est agressif du type tropical humide d'altitude à pluviosité moyenne annuelle de 1823 mm, répartie sur 114 jours de pluies. La saison des pluies se situe entre novembre et avril. La zone de Manankazo présente un indice d'érosivité climatique de $R_{usa} = 508$: elle se trouve dans la zone d'érosion N° 2 à forte intensité pluviométrique horaire de 110 mm/h (SOUCHIER, 1961).

Le relief de Manankazo est constitué par des collines à replats sommitaux et à versants pentus avec présence de lavaka à certains endroits.

Les sols sont généralement classés dans le groupe de sols ferrallitiques jaune sur rouge lessivés, à pH bas, sensibles à l'érosion.

En ce qui concerne le contexte socio-économique de la zone de Manankazo, les pratiques des feux de brousse sont annuelles pendant la saison sèche, dans le but d'obtenir un ruissellement sur les versants pour irriguer les rizières de bas fond en saison des pluies ou pour renouveler les pâturages. Par conséquent, ces feux de brousse de raison culturelle, pastorale ou même politique ont dégradé gravement la végétation jusqu'à une situation quasi généralisée de prairie à steppe de graminée monospécifique (*Aristida multicaulis*), favorisant les phénomènes d'érosion des sols dégradés sur les pentes. Ainsi, il ne reste actuellement qu'un certain nombre de vestiges de forêt ripicole primaire, situés sur les zones à haute altitude.

Par ailleurs, les pratiques paysannes de cultures traditionnelles sans intrant favorisent aussi la dégradation des sols.

1.2 Méthodes expérimentales

Dans notre expérimentation, les meilleures espèces légumineuses arbustives ont été installées en jachère de longue durée de 5 à 10 ans, afin d'obtenir l'efficacité maximale pour l'amélioration de la conductivité hydraulique à saturation du sol très dégradé, de sa résistance à l'érosion et de sa productivité.

Le témoin de référence où on a installé ces jachères était une prairie dégradée brûlée annuellement à steppe d'*Aristida multicaulis*, très fréquente dans la région.

Ces dispositifs agroforestiers ont été comparés à l'écosystème de forêt naturelle afin d'en déduire le dispositif le plus efficace pour améliorer les propriétés du sol.



Photo 1 : Vestige de forêt naturelle ripicole et prairie dégradée à *Aristida* sp brûlée annuellement

1.2.1 Dénomination des divers agroécosystèmes étudiés_

Forêt	Forêt naturelle
JT7	Jachère légumineuse arbustive à <i>Tephrosia vogelii</i> durant 7 ans
JCALL10	Jachère légumineuse arbustive à <i>Calliandra calothyrsus</i> de 10 ans
JFP5	Jachère légumineuse arbustive pleine à <i>Flemingia congesta</i> de 5 ans
JFL2M	Haies vives de <i>Flemingia congesta</i> 5 ans à deux rangées
JFC2M	Espace cultural en couloir de 2m entre deux haies vives de <i>Flemingia congesta</i> 5 ans à double rangée
JFL1M	Haies vives de <i>Flemingia congesta</i> 5 ans à une rangée
JFC1M	Espace cultural en couloir de 1m entre deux haies vives de <i>Flemingia congesta</i> à une rangée
PVD	Prairie dégradée à steppe d' <i>Aristida multicaulis</i> sur versant pentu non brûlé depuis 15 ans
PBA	Prairie dégradée brûlée annuellement pendant 15 ans et mise en défens depuis 6 ans (à steppe d' <i>Aristida multicaulis</i>)



Photo 2 : Jachère de *Tephrosia vogelii* âgée de 7 ans

1.2.2 Mesure de la conductivité hydraulique du sol à saturation

Pour mesurer la conductivité hydraulique du sol à saturation, nous avons adopté la méthode du monocylindre de ROOSE et al (1997). Un cylindre de diamètre 10 cm et de hauteur 10 cm est enfoncé dans le sol à 2cm de profondeur. On le remplit d'eau jusqu'à un niveau de 5 cm et on mesure avec une réglette et un chronomètre la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. On remplit à chaque fois le cylindre quand le niveau d'eau atteint la surface du sol. L'expérimentation est prolongée jusqu'à l'obtention d'une vitesse d'infiltration minimale constante qui donne la conductivité du sol à saturation.

1.2.3 Evaluation de la pédofaune présente dans chaque agroécosystème

Pour évaluer l'importance de l'action de la pédofaune sur la conductivité hydraulique du sol, la pédofaune présente dans chaque agroécosystème a été déterminée et comptée. Des échantillons ont été prélevés dans la couche superficielle du sol où la pédofaune est la plus abondante (0 - 10 cm) et dans la litière. La pédofaune a été soumise à l'extraction par la méthode dérivée de celle de Berlèze.

L'échantillon de sol est mis dans un récipient cylindrique au fond duquel est disposé un tamis pouvant laisser passer la pédofaune dans un second récipient sous-jacent. Au-dessus de l'échantillon de sol, a été disposée une source de lumière, engendrant la fuite de la pédofaune vers le fond de l'échantillon. Le second récipient, contenant de l'eau, sert à recueillir la pédofaune. La pédofaune recueillie est déterminée et comptée à l'aide d'une loupe binoculaire.

1.2.4 Mesure des autres caractéristiques du sol

Les caractéristiques physico-chimiques du sol qui peuvent influencer la conductivité hydraulique du sol ont été aussi évaluées (taux de matière organique du sol, densité apparente, porosité, instabilité structurale).

Le rendement de haricot cultivé après enfouissement de la biomasse de jachère légumineuse a été aussi mesuré pour évaluer la productivité du sol.

2- RESULTATS

2.1 Détermination de la conductivité hydraulique du sol à saturation et des caractéristiques physico-chimiques du sol

De nombreux chercheurs ont développé un modèle mathématique exprimant la décroissance de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol en fonction du temps, jusqu'à un régime de palier constant donnant la valeur de la conductivité hydraulique à saturation du sol (K_s).

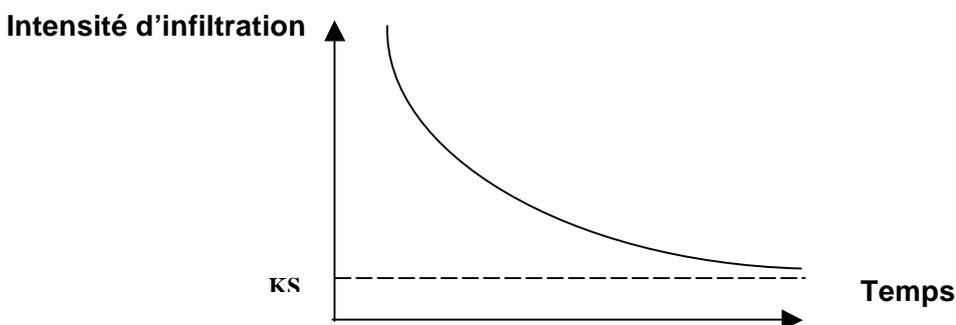


Figure n°1 : Courbe de décroissance de la vitesse d'infiltration en fonction du temps donnant la conductivité hydraulique à saturation K_s du sol

La conductivité hydraulique du sol à saturation K_s correspond à l'infiltrabilité minimale du sol en régime saturé.

Nos résultats expérimentaux ont donné une équation empirique correspondant au modèle de SWARTZENDRUBER, cité par SCHROEDER et al (1982) :

$$I = b (t - c)^{-1/2} + K_s$$

I : intensité d'infiltration de l'eau dans le sol ;

b et c : constantes

t : temps

K_s : conductivité hydraulique à saturation.

D'après ROOSE (1997), la forme des taches humides du sol renseigne sur les différences d'infiltration des horizons successifs, sur la succion latérale, les risques de drainage oblique et la résistance de chaque horizon à l'infiltration.

La mesure du diamètre moyen de la tache humide permet de corriger l'estimation de l'infiltration en fonction de la succion latérale.

Ainsi, nous avons corrigé les valeurs d'infiltrabilité minimale mesurées en tenant compte de la formule de ROOSE (1997) :

$$Fn \text{ corrigée} = Fn \text{ mesurée} \times R^2/25 \quad \text{où } R = \text{le rayon de la tache d'humectation du sol}$$

Le tableau 1 présente les valeurs de la conductivité hydraulique du sol à saturation K_s ainsi que les valeurs des caractéristiques du sol qui peuvent l'influencer (taux de matière organique du sol, taux d'azote, porosité, densité apparente, instabilité structurale) et le rendement de haricot sec, après enfouissement de la jachère.

Tableau n°1 : Caractéristiques physico-chimiques et hydriques du sol

Parcelle	Po %	Da	Is	K_s mm/h	Mo%	N%	Rendement t/ha	
Forêt	76,00	0,49	0,01	719,3	13,49	0,45		
JT7	63,04	0,89	0,12	512,7	8,56	0,37	3,83	
JCALL10	62,21	0,91	0,12	318,5	8,44	0,34		
JFP5	61,83	0,92	0,14	152,4	8,23	0,29	4,76	
JT10	61,04	0,94	0,14	107,43	7,78	0,37	3,68	
JFL2M	60,67	0,94	0,15	56,22	8,18	0,32		
JFL1M	60,21	0,96	0,16	52,15	7,81	0,28		
JFC2M	59,58	0,97	0,18	48,37	7,43	0,29		
JFC1M	57,92	1,01	0,20	37,57	7,27	0,26	1,63	
PVD	55,71	1,06	0,34	27,14	5,39	0,20	0,68	
PBA	47,92	1,25	0,46	24,97	4,21	0,15	0,003	

***Caractéristiques chimiques**

MO : Taux de matière organique

N : Taux d'azote

***Caractéristiques physiques**

Po : Porosité totale

Da : Densité apparente

Is : Indice d'instabilité structurale

***Caractéristique hydrique**

K_s : Conductivité hydrique à saturation

La valeur de K_s varie de 25 mm/h pour la prairie dégradée brûlée annuellement PBA à 512,6 mm/h pour la jachère de *Tephrosia vogelii* 7 ans (accroissement de 1953% par rapport à PBA) et 719,3 mm/h pour la forêt naturelle dense humide. La densité apparente du sol varie de 0,49 pour la forêt naturelle à 1,25 pour la prairie dégradée brûlée annuellement.

Le taux de matière organique du sol varie de 4,2% pour la prairie brûlée dégradée à 8,6% pour la jachère de *Tephrosia* 7 ans et 13,5% pour la forêt naturelle. Le rendement de haricot sec varie de 0,003 t / ha pour la prairie brûlée à 4,8 t / ha pour la jachère de *Flemingia congesta* 5 ans, après enfouissement de la biomasse (accroissement de 1 600 fois par rapport à PBA).

2.2 Evaluation de la quantité de pédofaune fousseuse dans le sol

Le tableau 2 présente la quantité de pédofaune fousseuse (lombrics, termites, fourmis) qui peut aussi influencer nettement la conductivité hydraulique du sol. La quantité de pédofaune fousseuse (lombrics, termites, fourmis) varie de 160 par m² pour la prairie brûlée annuellement à 2082 par m² pour la jachère de *Tephrosia* 7 ans et 2351 par m² pour la forêt naturelle.

Tableau n° 2 : Quantité de pédofaune fousseuse (en N/m²) présente dans la litière et la couche (0-10 cm) pour les divers agroécosystèmes

Agroécosystème	NLombriciens	NTermites	NFourmis
Forêt	320	335	1696
JT7	350	340	1392
JCALL10	335	320	1280
JFP5	300	318	1296
JT10	225	248	1200
JFL2M	180	196	1040
JFL1M	164	175	912
JFC2M	148	160	688
JFC1M	126	150	656
PVD	0	0	240
PBA	0	0	160

3-DISCUSSION

3.1 Effets des dispositifs agroforestiers sur l'amélioration de la conductivité hydraulique du sol

La conductivité hydraulique du sol est une caractéristique importante du sol qui régit la capacité d'infiltration du sol, elle influence la susceptibilité du sol au ruissellement et à l'érosion. Indirectement, en permettant une meilleur infiltration, et accroît la productivité du sol.

3.1.1 Relation entre la conductivité hydraulique du sol et le taux de matière organique du sol

D'après les résultats obtenus sur les dispositifs agroforestiers et les témoins de référence étudiés, la figure 2 montre que la conductivité hydrique du sol K_s augmente d'une manière exponentielle avec l'accroissement du taux de matière organique. La vitesse d'infiltration de l'eau de pluie dans le sol est améliorée par l'abondance de matière organique dans le sol, d'où les risques de ruissellement et d'érosion dégradant le sol et abaissant sa productivité sont réduits ou annulés. Ce fait est expliqué par l'accroissement exponentiel de la stabilité structurale du sol en fonction du taux de matière organique (Fig.3).

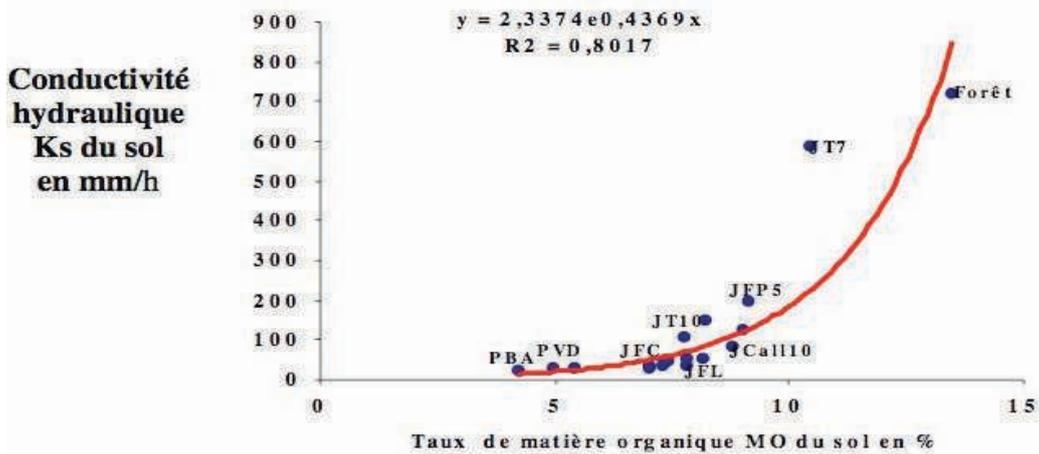


Fig. n° 2 : Accroissement de la conductivité hydraulique à saturation du sol en fonction du taux de matière organique

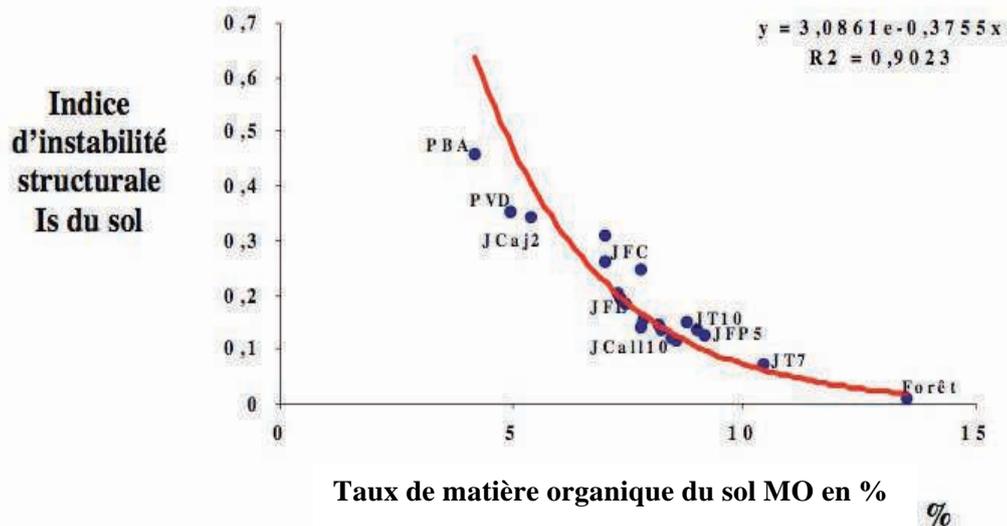


Fig. n°3 : Diminution de l'indice d'instabilité structurale du sol en fonction du taux de matière organique

En effet, la stabilité structurale du sol est une caractéristique essentielle qui détermine la résistance du sol à l'agressivité des gouttes de pluie et par conséquent elle détermine sa résistance à l'érosion et au ruissellement.

Plusieurs auteurs ont affirmé l'influence positive de la matière organique sur la stabilité structurale des agrégats (Le BISSONNAIS, 1996 ; AMEZKETA, 1999 ; ROOSE et al., 2004).

D'après GUCKERT (1973), TISDALL et OADES (1989), certains constituants organiques et notamment les polysaccharides d'origine microbienne ont, par leur structure moléculaire, leur liaison avec l'argile, leur localisation (paroi des plus gros pores) une efficacité spécifique élevée en accroissant la cohésion des agrégats du sol. D'autre part, la matière organique offre au sol une structure grumeleuse formée d'agrégats argilo-humiques, édifiés par les lombrics, conférant au sol une bonne stabilité structurale.

La figure 2 montre que le sol sous forêt naturelle et celui sous jachère de *Tephrosia vogelii* 7 ans (JT7) présentent les plus grandes valeurs de conductivité hydraulique à saturation. C'est dû à un taux de matière organique élevé du sol engendrant une stabilité structurale élevée. Les autres agroécosystèmes à teneur en matière organique moyenne présentent des valeurs de conductivité hydrique élevées intermédiaires : les jachères de *Flemingia congesta* 5 ans (JFP5) et de *Calliandra calothyrsus* 10 ans (J Call 10)

Les parcelles de prairie dégradées par les feux de brousse montrent les plus faibles valeurs de conductivité hydrique du sol. Ainsi, elles sont très sensibles au ruissellement et à l'érosion sous l'action des pluies

3.1.2 Relation entre la conductivité hydraulique du sol et la porosité du sol

Il a été observé une relation croissante exponentielle entre la conductivité hydraulique à saturation du sol et la porosité (voir figure 4)

La porosité du sol est un facteur essentiel qui régit la conductivité hydraulique du sol. Ainsi l'amélioration de cette caractéristique du sol engendre l'augmentation de la capacité d'infiltration du sol, ce qui réduit ou annule le ruissellement et l'érosion, puis accroît la productivité du sol.

La figure 5 montre que la porosité du sol est liée étroitement au taux de matière organique du sol d'une manière linéaire avec une pente positive forte.

Conductivité hydraulique du sol à saturation Ks en mm/h

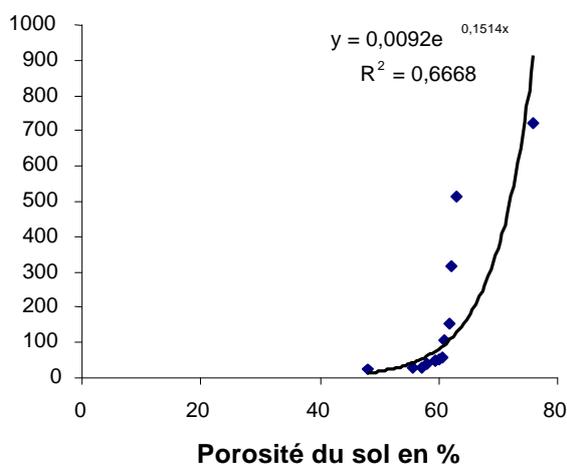


Fig. n°4 : Accroissement de la conductivité hydraulique du sol en fonction de la porosité

Porosité du sol en %

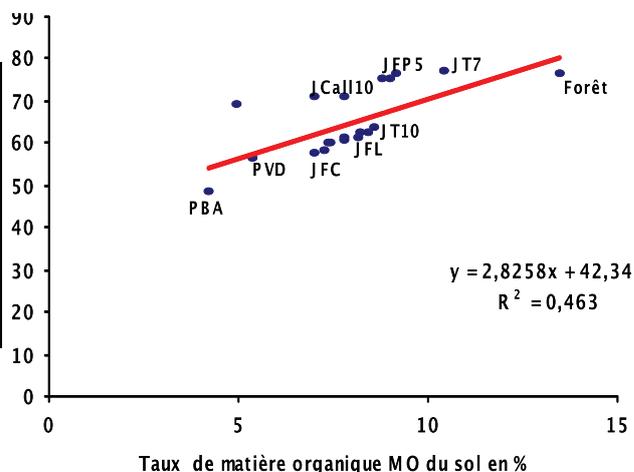


Fig. n°5 : Augmentation de la porosité du sol en fonction du taux de matière organique

On peut l'expliquer ainsi :

D'une part, la richesse du sol en matière organique favorise les activités biologiques, augmentant la porosité du sol. En effet, la matière organique contribue à la formation d'une structure grumeleuse du sol formée d'agrégats argilo-humiques édifiés par les lombrics. Cette structure confère au sol une bonne porosité (DUCHAUFOR et al. 1994). D'autre part, l'abondance de matière organique dans le sol permet le bon développement racinaire de la végétation. Ainsi, les racines décompactent les couches du sol et améliorent la porosité du sol en surface et en

profondeur. En plus, elles favorisent aussi la formation d'une structure grumeleuse par le phénomène d'alternance humectation - dessiccation du sol existant à leur niveau. La présence des racines en grande quantité entraîne le développement de nombreux macropores dans le sol.

Ainsi, les figures 4 et 5 montrent que la forêt naturelle et les parcelles de jachères légumineuses de *Tephrosia vogelii* 7 ans (JT7), de *Flemingia congesta* pleine 5 ans (JFP5), de *Calliandra calothyrsus* 10 ans (J Call 10) et de *Tephrosia vogelii* 10 ans (JT10) riches en matières organiques présentent des valeurs élevées en porosité du sol.

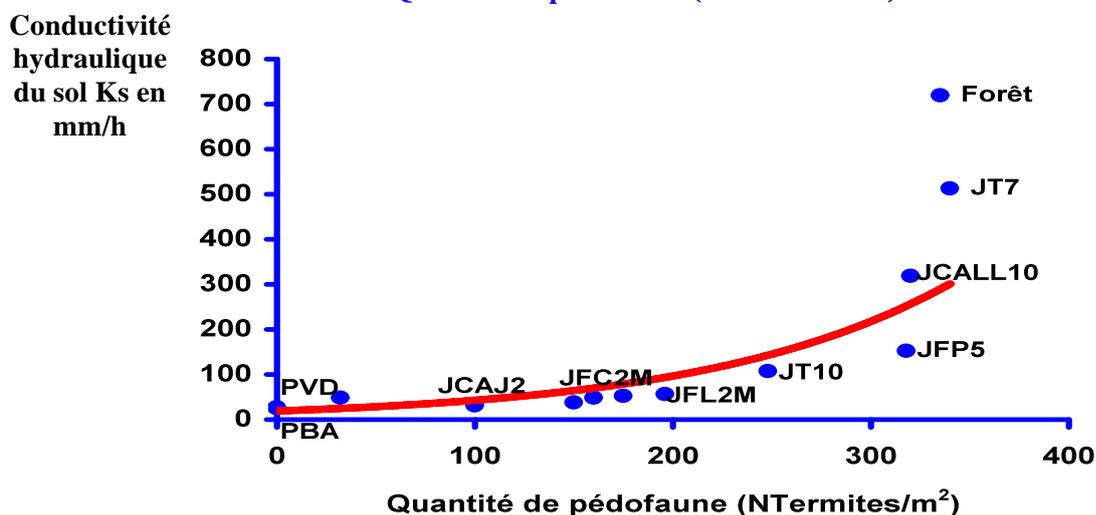
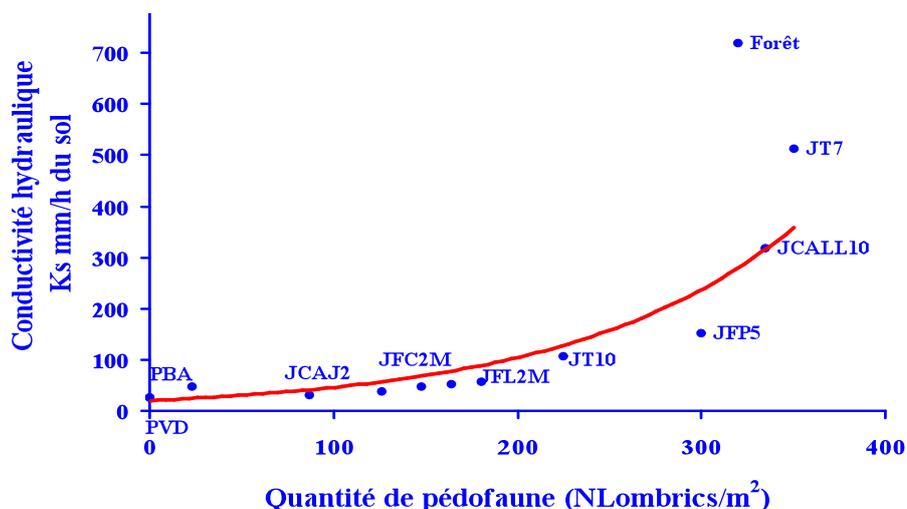
Les parcelles de prairie à *Aristida* dégradées par les feux de brousse (surtout PBA) ont des sols très compacts à valeurs de porosité très faibles.

3.1.3 Relation entre la conductivité hydraulique du sol et la quantité de pédofaune présente dans le sol

La pédofaune et les activités biologiques sont fondamentales pour l'amélioration de la fertilité des sols et de la productivité agricole.

La pédofaune constitue les éléments moteurs du cycle nutritif dans la mesure où elle régule la dynamique des matières organiques du sol, améliore la structure du sol et les régimes hydrologiques, augmente la quantité et l'efficacité de l'acquisition des éléments nutritifs par les végétaux. Ces activités biologiques constituent une ressource importante pour la gestion durable des systèmes agricoles.

D'après la figure 6 il apparaît une relation croissante exponentielle nette entre la conductivité hydraulique du sol et la quantité de pédofaune fouisseuse présente dans les divers agrosystèmes étudiés (lombrics, fourmis, termites).



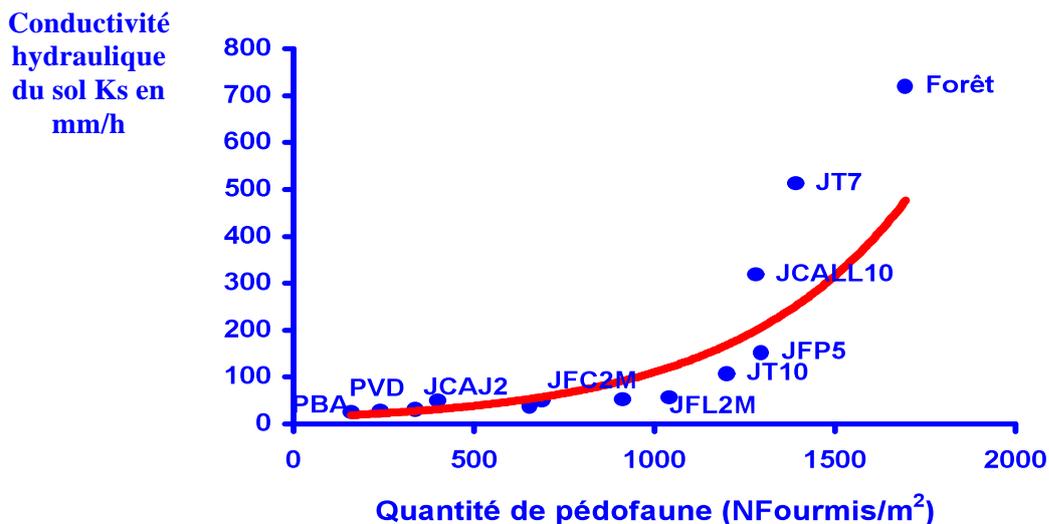


Fig. n° 6 : Accroissement de la conductivité hydraulique du sol en fonction de la quantité de pédofaune fousseuse présente dans le sol

	Equation de régression des courbes	R ²
Lombrics	$y = 20,173e^{0,0082x}$	0,8328
Termites	$y = 19,087e^{0,0081x}$	0,7992
Fourmis	$y = 13,575e^{0,0021x}$	0,8344

Ces « ingénieurs de l'écosystème » contribuent d'une manière importante à l'accroissement de la conductivité hydraulique du sol, grâce à l'amélioration de la porosité du sol et de sa stabilité structurale.

D'après DEPRINCE (2003), en construisant les termitières et les fourmilières, les termites et les fourmis participent à l'intégration de la matière organique dans le sol et réalisent un travail de décompactage du sol. En outre, ils remontent les sols de la profondeur vers la surface.

Les lombrics sont les plus efficaces des fousseurs souterrains (BOUCHE, 1972). Ils font des déplacements en profondeur. Ils creusent le sol en avalant la terre et la rejettent sous forme de déjections.

En creusant des galeries, les lombrics augmentent la porosité du sol, ce qui améliore la capacité d'infiltration d'eau du sol.

Ainsi, d'après LAVELLE (2001) ces organismes jouent un rôle prépondérant dans :

- la structuration du sol
- l'apport d'éléments en surface et l'enfouissement d'éléments organiques en profondeur
- la production d'agrégats organo-minéraux stables à partir des déjections.

La présence de la pédofaune dépend non seulement des propriétés du sol (en particulier la texture) mais surtout de la qualité et de l'abondance de la végétation qui conditionnent la nutrition et l'existence de la pédofaune.

D'après la figure 6, c'est la forêt naturelle et la jachère de *Tephrosia vogelii* de 7 ans qui favorisent nettement les activités biologiques pour l'amélioration de la conductivité hydraulique du sol (richesse en matière organique et en azote). Les jachères JFP5 et JCALL10 suivent au second rang.

A l'opposé, les parcelles de prairie dégradées par les feux présentent des valeurs de conductivité hydraulique du sol plus faibles à cause de la destruction de la pédofaune par les feux et à cause de la dégradation de la végétation et du sol par les feux (conditions hostiles à la pédofaune).

3.2 Effets des divers dispositifs agroforestiers sur l'amélioration de la productivité du sol

L'établissement de la relation entre le rendement agricole et les caractéristiques de fertilité du sol (hydriques et chimiques) permet d'étudier leur influence sur la productivité du sol.

3.2.1 Influence de la conductivité hydraulique du sol sur le rendement

La figure 7 présente l'effet de l'amélioration de la conductivité hydraulique du sol par les jachères légumineuses arbustives sur l'augmentation du rendement de haricot après enfouissement de la biomasse.

La conductivité hydrique du sol influence le rendement agricole d'une manière logarithmique croissante. En effet, une bonne capacité d'infiltration de l'eau de pluie par le sol réduit ou annule les processus de ruissellement et d'érosion qui causent les pertes d'éléments les plus fertiles du sol et la baisse de la productivité agricole. Ainsi, ce sont les agroécosystèmes à meilleure conductivité hydrique du sol qui produisent les meilleurs rendements agricoles (jachère de *Tephrosia vogelii* 7 ans (JT7), jachère de *Flemingia congesta* 5 ans (JFP5), jachère de *Tephrosia vogelii* 10 ans (JT10)). Dans le cas contraire, la prairie brûlée dégradée PBA, ayant montré une capacité d'infiltration du sol très faible, présente aussi une productivité médiocre (0,003t/ha), puisque le sol compact est très susceptible à l'érosion.

Rendement de haricot en t/ha

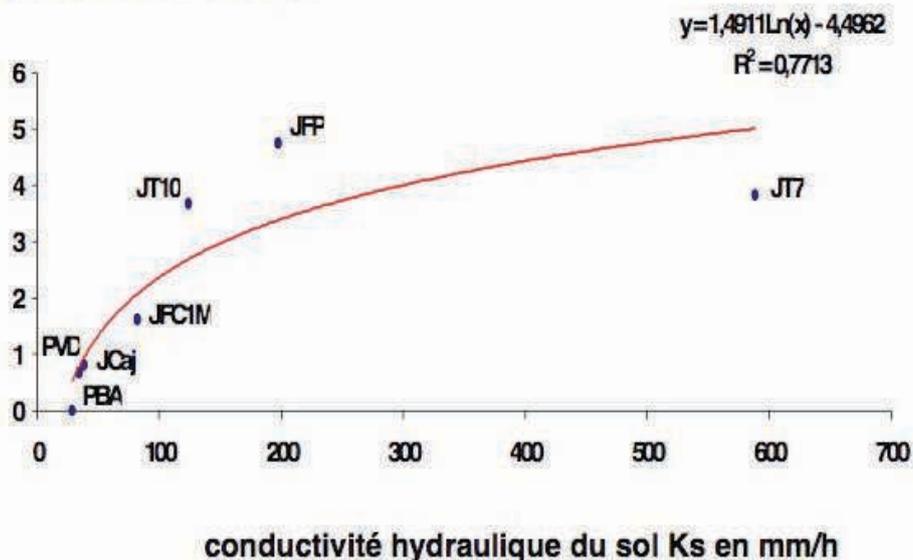


Fig.7 : Relation d'accroissement du rendement en fonction de la conductivité hydraulique du sol

Le rendement obtenu sur ces jachères légumineuses est très élevé et aurait pu encore être meilleur, mais des maladies cryptogamiques ont attaqué les haricots pendant tout le stade cultural. La jachère de *Tephrosia vogelii* 7 ans (JT7) a été affectée gravement par l'Anthracnose, la jachère de *Flemingia congesta* (JFP5) a été

affectée par l'*Isariopsis griseola*, la jachère de *Tephrosia vogelii* 10 ans (JT10) par *Phaseoisariopsis griseola*.

3.2.2 Influence des caractéristiques chimiques du sol sur la productivité du sol

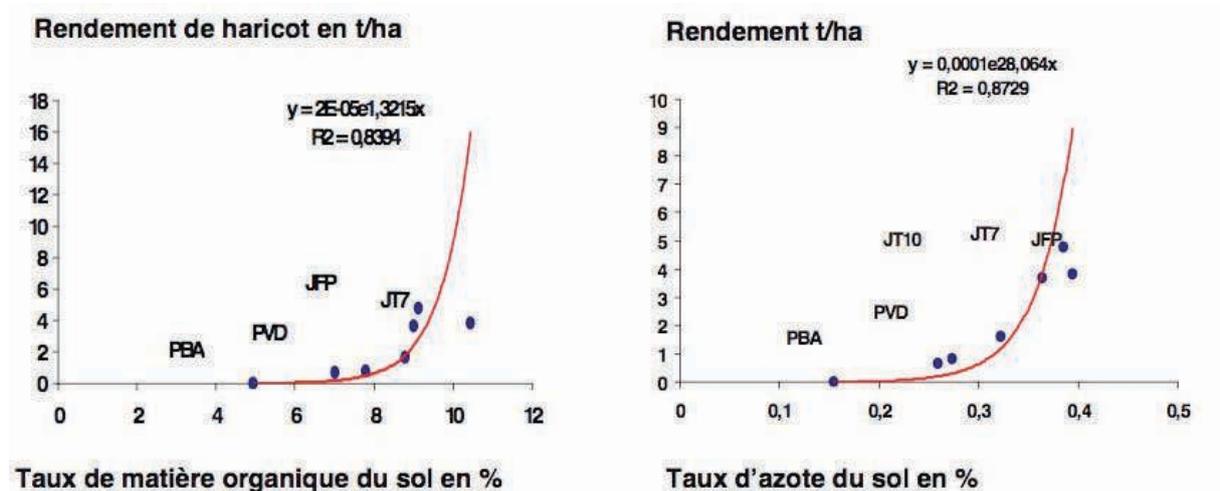


Fig.8 : Relation d'accroissement du rendement en fonction du taux de MO et de N du sol

La figure 8 montre que le rendement de haricot augmente fortement avec le taux d'azote et le taux de matière organique du sol selon une courbe exponentielle. Ces deux caractéristiques du sol influencent fortement la production agricole. Ainsi, ce sont les agroécosystèmes qui enrichissent le sol en matière organique et en azote qui produisent le meilleur rendement de haricot (jachère de *Tephrosia vogelii* 7 ans (JT7), jachère de *Flemingia congesta* 5 ans (JFP5), jachère de *Tephrosia vogelii* 10 ans (JT10). En effet, la caractéristique essentielle des légumineuses est l'aptitude



Photo n°3 : Jachère de *Flemingia congesta* de 5ans enfouie
Rendement de haricot : 4,76 t/ha



Photo n° 4: Prairie dégradée brûlée annuellement enfouie
Rendement de haricot : 0,003 t/ha

à la fixation symbiotique d'azote (grâce aux bactéries *Rhizobium*), enrichissant le sol en azote. La photo n°3 montre l'état du haricot au stade cultural proche de la maturité.

La prairie brûlée annuellement PBA dont le sol est appauvri en matière organique et en azote produit un rendement de haricot nul (photo n°4).

CONCLUSION

Cette recherche a montré l'efficacité des dispositifs agroforestiers (cultures en couloir et surtout jachères légumineuses arbustives) pour l'accroissement de la conductivité hydraulique des sols très dégradés, induisant l'amélioration de la dynamique d'infiltration de l'eau de pluie. Il en résulte la réduction de la susceptibilité des sols à l'érosion et l'augmentation de leur productivité.

Les espèces *Flemingia congesta*, *Calliandra calothyrsus*, et *Tephrosia vogelii* apparaissent efficaces pour l'amélioration des propriétés du sol, mais c'est surtout cette dernière espèce qui présente la meilleure aptitude à restaurer la fertilité des sols fort dégradés jusqu'à un état proche de la forêt naturelle. Ce fait est dû à la meilleure qualité (richesse en azote) et à l'abondance de la biomasse produisant beaucoup d'humus labile de type Mull. En outre, ce milieu favorise la prolifération de la pédofaune dont les activités biologiques contribuent d'une manière importante à l'accroissement de la conductivité hydraulique du sol et de sa productivité.

La diffusion de ces techniques culturales améliorantes et antiérosives aux paysans pourrait apporter des solutions efficaces pour augmenter leur production agricole et réduire leur pauvreté. L'application de ces jachères légumineuses arbustives peut être entreprise dans les autres zones à sols dégradés de Madagascar, mais aussi dans les zones de même conditions pour les divers pays tropicaux, afin de promouvoir le développement durable.

BIBLIOGRAPHIE

- AMEZKETA E.**, 1999. Soil aggregate stability : a review. *J. Sustainable Agric*, 14 : 83-151.
- BOUCHE N.**, 1972. Lombriciens de France, écologie et systématique. INRA Versailles, 671p
- DUCHAUFOUR Ph., BONNEAU M., SOUCHIER B.**, 1994. Pédologie - tome 2 – *Constituants et propriétés du sol* – 2è édition - MASSON, 654 pages.
- DEPRINCE A.**, 2003. La faune du sol : diversité, méthode d'étude, fonction et perspectives. *Le courrier de l'environnement* n°49.
- GUCKERT A.**, 1973. Contribution à l'étude des polysaccharides dans les sols et de leur rôle dans les mécanismes d'agrégation. Thèse de doctorat d'Etat – Université Nancy I–124 pages.
- LAVELLE P., SPAIN AV.**, 2001. Soil Ecology. KLUWER Academic Publishers, 654p
- LE BISSONNAIS, Y.**, 1996. Soil characteristics and aggregate stability. In : Agassim, ed : *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. New York : Dekker : 41-60.
- RAZAFINDRAKOTO M. A.**, 2004. Evaluation de l'efficacité de diverses techniques biologiques de gestion conservatoire de la fertilité des sols. Doctorat d'Etat Es-Sciences Physiques. Université d'Antananarivo, 192 p.
- ROOSE E.**, 1997. Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes : monocylindre et deux simulateurs de pluies – Application à un versant de la vallée de Godim au Cap vert – ORSTOM Montpellier – Bull. Réseau Erosion, n°17 : 282-296
- ROOSE E., DIALLO D., BARTHÈS B., ORANGE D.**, 2004. Comparaison entre stabilité des agrégats ou des mottes et risques de ruissellement et d'érosion en nappe mesurés sur parcelles en zone soudanienne du Mali – *Revue Sécheresse* 15, 1 : 57-64.

SCHROEDER S. A. , SWATZENDRUBER, FOSTER G. R., MOLDENHAUER W.C. , MANNERING J.V., 1982. Hydraulic conductivity of soil as determined from cumulative runoff. – *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46 : 1267 – 1278

TISDALL JM., OADES JM., 1982 . Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-63.

Rôles de la haie vive antiérosive sur la gestion de l'eau, du sol et le rendement des cultures du centre sud du bassin arachidier sénégalais.

DIATTA Malainy, FAYE Elhadji, GROUZIS Michel et PEREZ Pascal

ISRA, BP2312, Dakar Hann :hadjifaye@yahoo.fr ; djinkadiatta@yahoo.fr, pascal.perez@cirad.fr

Résumé

La surexploitation de la végétation du plateau cuirassé de Keur Dianko, terroir villageois de la communauté rurale de Thyssé-Kaymor (13°45' N ; 15°40' O), et la réduction du temps de jachère ont fragilisé les sols superficiels et donné naissance au ruissellement. Les haies vives isohypses sont des aménagements de petite hydraulique agricole, utilisés au Sahel pour limiter le ruissellement et l'érosion des terres agricoles. L'étude de son importance sur la gestion de l'eau du sol et sur le rendement des cultures s'est déroulée dans les zones de cultures situées sur le glacis de la toposéquence d'un bassin versant de Keur Dianko confronté à un sérieux problème d'érosion. Après quatre années d'installation, le suivi du réseau de douze haies vives constituées de onze espèces ligneuses (*Acacia nilotica* var. *adansonii* VG.Perr, *Acacia senegal* (L.) Willd, *Acacia seyal* Del., *Acacia mellifera*, *Bauhinia rufescens* Lam., *Dichrostachys glomerata* (Forsk) Chiov., *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst., *Ziziphus mauritiana* Lam., *Gliricidia sepium*, *Parkinsonia aculeata* Lam., *Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz), plantées à partir de 1988, a montré : une plus importante humidité suivie d'un front d'humectation plus profond au niveau des profils situés entre 0,5 et 1 m de la haie vive que ceux entre 2 et 5 m ; une meilleure infiltration de l'eau en amont qu'en aval de la haie vive ; une forte différenciation des stocks hydriques en fonction des saisons et de la distance à la haie (entre 0,5 et 1 m, le stockage est plus important en amont qu'en aval, et entre les saisons humide et sèche, l'écart entre les profils est de 80 mm). Cette amélioration du profil et du stock hydriques près de la haie s'accompagne curieusement de baisses de rendement, plus fortes chez le mil que chez l'arachide. Les causes réelles de ce déclin seraient liées à la concurrence exercée par les arbres sur les cultures ou à des phénomènes de toxicité racinaire.

Mots-clefs : Sénégal, Haie vive, Infiltration, Humidité du sol, Rendement des Cultures

Abstract :

Overexploitation of the vegetation on the plateau of Keur Dianko, land of the villagers of Thyssé-Kaymor (13°45'N, 15° 40'W) and the reduction of the fallow duration have reduced the stability and the fertility of these superficial soils, susceptible to runoff. Living hedges on the contour are used in the Sahel to reduce erosion & runoff risks. After 4 years of growing, twelve hedges of eleven species of bushes (*Acacia nilotica*, *senegal*, *seyal*, *mellifera*, *Bauhinia rufescens*, *Dichrostachys glomerata*, *Piliostigma reticulatum*, *Ziziphus mauritiana*, *Gliricidia sepium*, *Parkinsonia articulatum*, *Prosopis chiliensis*) planted in 1988 have shown a better infiltration in front of the hedge, a more important soil moisture around the hedge than after 2 and 5 m apart, and a difference of water storage of 80mm between rainfall and dry seasons. This improvement of water storage around the edges is curiously producing a decrease in yields bigger on millet than on peanuts. This could be explained by nutrients or light concurrence between bushes and crops or by roots toxicity.

Keywords : Senegal, hedges, influence on infiltration, on water storage, on yields, concurrency, toxicity

Cadre d'étude et méthode

Unités du paysage

La région d'étude est située dans la partie sud du bassin arachidier du Sénégal, sur les terroirs villageois de la communauté rurale de Thyssé-Kaymor (13°45' N et 15°40' O), à une trentaine de kilomètres à l'est de Nioro du Rip. Cette communauté rurale, d'une superficie de 19 500 hectares, fait partie de l'arrondissement de médina Sabakh, dans la région administrative de Kaolack (*figure 1*).

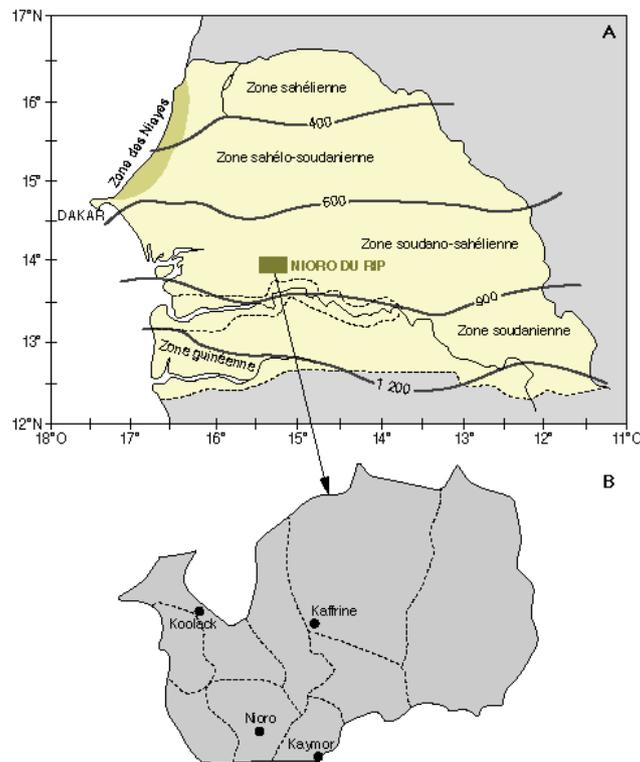


Figure 1. Carte de situation. A : Localisation de la zone d'étude dans le contexte bioclimatique du Sénégal, défini par les isohyètes (1960-1990). Les limites bioclimatiques utilisées correspondent aux critères décrits par Le Houérou [10]. B : Agrandissement de la zone d'étude.

Le climat de la région est de type soudanien à deux saisons fortement contrastées : une longue saison sèche (novembre à mai) et une saison des pluies variant de 4 à 5 mois (juin à octobre). La moyenne des pluviosités annuelles sur la série (1970-1992), réparties entre 60 et 45 jours de pluies, est de l'ordre de 600 mm. La saison des pluies est centrée sur le mois d'août qui reçoit en moyenne 37 % des précipitations [11]. L'analyse de séries observées depuis 1932 à la station de Nioro du Rip montre que la période actuelle s'inscrit dans une tendance générale de déficit pluviométrique. Cette tendance à la baisse des précipitations annuelles a été plus marquée à partir des années 70. Durant la période 1970-1992, la fréquence des années déficitaires s'est accrue.

Les caractéristiques géomorphologiques et édaphiques de la région sont connues grâce aux travaux de Bertrand [12] et Angé [13].

Les différentes unités géomorphologiques identifiées dans la zone (*figure 2*) sont :

* Le plateau cuirassé compris entre 25 et 40 m d'altitude. La pente générale très faible, inférieure à 1 %, entraîne tout de même une érosion des horizons supérieurs. Celle-ci est relativement plus forte en bordure de plateau. Les sols sont de type ferrugineux tropicaux peu épais sur cuirasse gravillonnaire à lithosols sur le talus d'éboulis. Cette unité de plateau est utilisée essentiellement pour le pâturage, le ramassage de bois et divers services (cueillette, chasse, etc.).

* Le glacis est une surface entaillée dans les altérites de grès cuirassé. Elle présente différents profils transversaux suivant les secteurs convexo-concaves ou convexes [14]. La profondeur de la cuirasse est très variable et dépend du modelé. Les sols sablo-limoneux sont ferrugineux tropicaux lessivés

moyennement profonds de série rouge. Ce sont des sols sensibles à l'érosion lors de leur mise en culture. Cette unité géomorphologique est occupée par le parc agroforestier à *Cordyla pinnata* où l'arachide, le mil et le coton constituent les soles principales.

* La terrasse correspond à des formations de colluvionnement et d'alluvionnement épaisses, principalement sableuses, limoneuses en surface et argileuses en profondeur. Son modelé en coupe est localement marqué par des traces d'érosion linéaire, parfois même par un ravinement intense, notamment le long des pistes. Les sols sont ferrugineux tropicaux peu lessivés, profonds et de série beige. La terrasse est occupée par le parc agroforestier à *Parkia biglobosa*. Cette zone est exploitée essentiellement pour la culture des céréales (mil, maïs).

* Le bas-fond se décompose en une surface alluviale temporairement inondée et une aire colluvio-alluviale latérale. Des traces d'érosion régressive et des indices d'hydromorphie apparaissent sur cette dernière. La surface alluviale temporairement inondée correspond aux lits d'anciens bras du principal axe de drainage de la zone, le Baobolon. Cette zone est occupée par la forêt-galerie. Elle est utilisée pour le parcours du bétail, le maraîchage et la culture du riz.

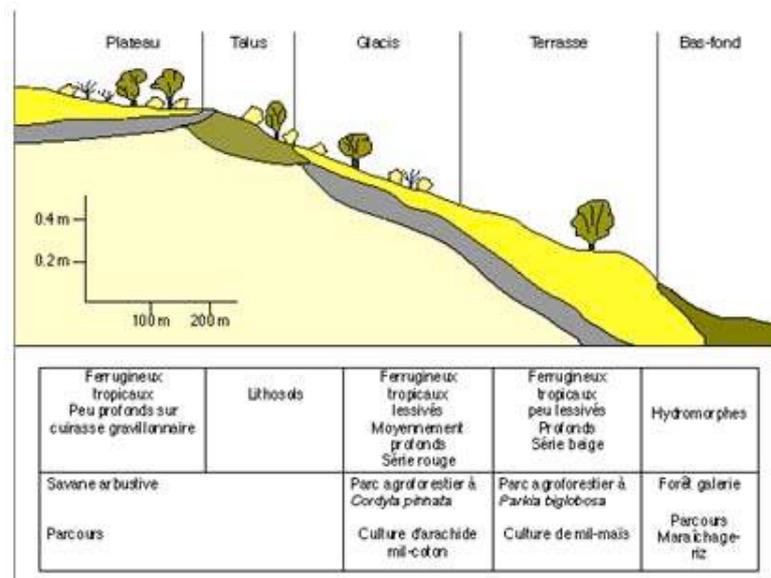


Figure 2. Caractéristiques du bassin versant de Keur Dianko (d'après Diatta et al. [11]).

Dispositif expérimental

Les champs de culture situés sur le glacis du bassin versant de Keur Dianko d'une superficie de 60 ha (figure 3) ont été retenus pour conduire cette expérience. Ceux-ci sont constamment menacés par le ruissellement en provenance des surfaces dégradées du plateau cuirassé. Ces champs ont été équipés de haies vives isohypses, dont l'amont et l'aval ont fait l'objet d'un suivi hydrique, et d'un suivi agronomique des cultures.

La haie vive isohypse est une technique agroforestière simple de lutte antiérosive appropriable par les paysans. Elle est une formation dense et alignée d'espèces ligneuses (arbustes ou arbrisseaux) et/ou herbacées pérennes (*Vetivera nigriflora*, *Andropogon gayanus*, *Panicum maximum*) dont l'objectif est de limiter le ruissellement et l'érosion dans les champs de cultures.

Elle permet de réintroduire l'arbre dans le paysage agricole comme l'a proposé Roose [15] dans une stratégie de revégétalisation de l'espace agricole. Plusieurs critères entrent en compte dans le choix des espèces à utiliser en haie vive : adaptation aux conditions pédo-climatiques, facilité de multiplication, croissance rapide, recouvrement et bonne ramification. Sur la base de ces critères et des besoins des populations, onze espèces ont été retenues. Celles-ci ainsi que leurs caractéristiques, taux de survie et hauteur (après trois saisons de pluie), sont reportées dans le tableau I.

Tableau I. Caractéristiques des espèces utilisées en haie vive à Thyssé-Kaymor en 1991

Espèces utilisées	Taux de survie (%) en 1991	Hauteur (cm) en 1991
Espèces locales		
<i>Acacia nilotica</i> var. <i>adansonii</i> G. Perr.	90	175
<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	83	120
<i>Acacia seyal</i> Del.	90	210
<i>Acacia mellifera</i>	87	85
<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	92	162
<i>Dichrostachys glomerata</i> (Forsk.) Chiov.	50	80
<i>Ptilostigma reticulatum</i> (D. C.) Hochst.	77	85
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	78	115
Espèces exotiques		
<i>Glicidia sepium</i>	5	75
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	75	185
<i>Prosopis chilensis</i> (Mol.) Stuntz	35	120

La réalisation des plantations en courbe de niveau nécessite un relevé topographique du paysage agricole pour déterminer les lignes isohypses sur lesquelles seront plantés les arbres. Les contraintes liées, d'une part, au parcellaire établi et, d'autre part, aux exigences de la culture attelée ont conduit à **lisser certaines courbes de niveau à la demande des propriétaires des champs**. Toutes les lignes repérées sont matérialisées par des piquets. Après le repérage, la préparation du chantier a consisté à :

- creuser des tranchées de 50 cm de large sur une profondeur de 50 cm le long des lignes ;
- reboucher ces tranchées avant l'arrivée des premières pluies pour ameublir le site de plantation et améliorer les conditions hydriques des plants.

Les haies vives ont été plantées entre 1988 et 1990 (plantations et regarnis) en fonction du plan de masse reporté sur la *figure 3* :

- 12 lignes de longueurs variant entre 150 et 700 m, perpendiculaires à la ligne de plus grande pente ;
- l'écartement est de 50 cm entre les plants sur la ligne ;
- l'écartement entre deux haies, compris **entre 40 et 60 m**, varie en fonction de la pente ;
- les haies vives sont **plurispécifiques** dans le but de diversifier et sélectionner les espèces ayant un meilleur comportement dans le site (taux de survie, croissance).

La coupe en hauteur des haies en début de saison des pluies (juin) a pour objectif de limiter la croissance, de favoriser la ramification et la densité à la base et de réduire l'incidence du houppier sur la parcelle de culture. Les produits de **cette coupe de gestion sont utilisés, au début, pour colmater les brèches sur la ligne des arbres** de manière à renforcer l'efficacité de la haie, puis pour divers usages domestiques (bois de chauffe, fourrage, etc.).

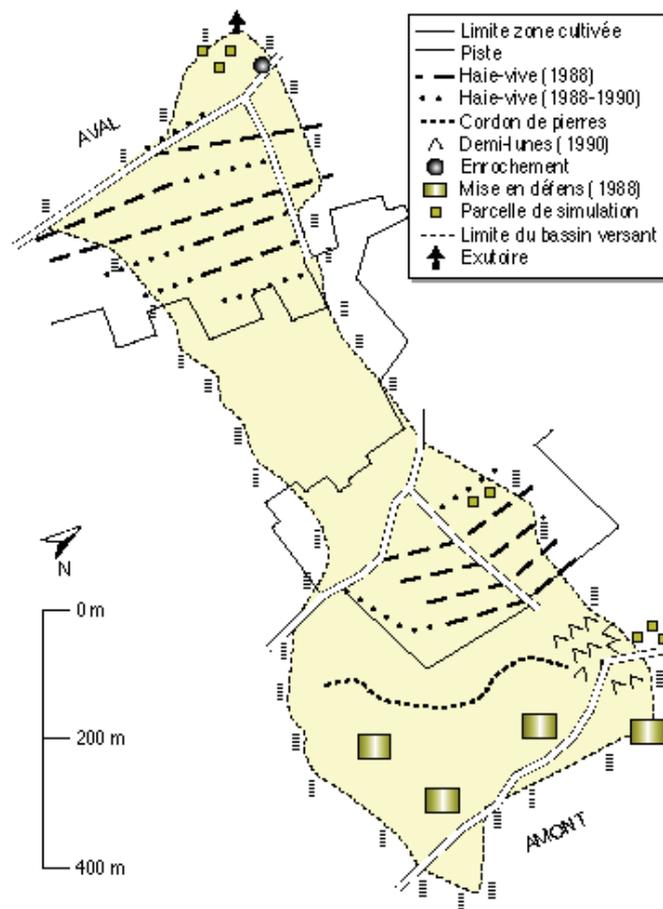


Figure 3. Schéma du dispositif antiérosif du bassin versant de Keur Dianko (60 ha).

Suivi hydrique et agronomique

Ce suivi a porté sur une seule ligne d'arbres composée de deux des onze espèces utilisées : *Acacia nilotica* var. *adansonii* et *Ziziphus mauritiana*.

* Suivi hydrique

Les variations du stock hydrique du sol en fonction de la position et de la distance à la haie vive sont d'abord appréciées. Pour cela, l'humidité a été mesurée sur des prélèvements faits à la tarière. Les prélèvements ont été réalisés sur des sites en amont et en aval de la haie vive. Ces sites sont répartis respectivement à 0,5 m (sous la haie), 1 m (limite de la frondaison), 2 et 5 m (extérieur de la haie) suivant un dispositif en lignes perpendiculaires à la haie vive avec trois répétitions. L'écartement entre deux lignes est de 10 mètres. Bien évidemment, les prélèvements ne peuvent être effectués au même endroit. Le suivi des stocks hydriques réalisé avec un pas de temps d'environ 15 jours durant la saison des pluies a débuté en saison sèche avant la première averse et s'est prolongé un mois après la dernière pluie pendant les années 1991 et 1992. Le stock hydrique est évalué sur une épaisseur de sol d'un mètre. Pour l'analyse, les observations provenant des sites situés en amont sont séparées de celles réalisées en aval de la haie vive.

* Suivi agronomique

L'influence de la haie vive sur les cultures a été évaluée sur l'arachide en 1991 et le mil en 1992, dans un système de rotation arachide/mil pratiqué dans la zone d'étude. Un dispositif en blocs randomisés a été utilisé pour étudier la variabilité spatiale des rendements des cultures par rapport à la haie vive. Le rendement a été mesuré sur des lignes d'un mètre de long pour l'arachide et dans des parcelles de dimensions 1 x 2 m pour le mil, avec 3 répétitions par distance (1, 2 et 5 m en amont et en aval de la haie vive).

La **production totale des parties aériennes** (gousses + fane) et la **production de gousses** pour l'arachide aussi bien que la **production totale des parties aériennes** (épis + tiges + feuilles) et la production d'épis pour le mil ont été quantifiées. Les données sont soumises à une analyse de variance.

Résultats

Les prélèvements d'échantillons de sol effectués au cours des deux campagnes de mesures (1991 et 1992) donnent l'humidité en profondeur et les stocks d'eau par rapport à la distance à la haie vive. Ces résultats reportés au *tableau II* et illustrés sur la *figure 4* mettent en évidence une différence de comportement hydrique probablement liée à la haie vive. À proximité immédiate des arbres (0,5 à 1 m), l'humidité du sol est plus élevée et l'humectation plus profonde. En revanche, l'humidité du sol au niveau des profils éloignés (profils extérieurs) de la haie vive (2 à 5 m) est nettement moins élevée. Au niveau de ces derniers, le front d'humectation est peu profond et affiche un retard de progression vers les horizons sous-jacents. On peut, en comparant les différents profils en amont et en aval, observer une légère tendance à **un avancement plus profond du front d'humectation en amont**, sans toutefois observer de différence significative entre des profils situés à égale distance et de part et d'autre de l'axe de la haie.

Tableau II. Stocks hydriques en fonction des dates et de la distance de la haie vive

Date	Aval				Amont			
Campagne 1991 (m)	5	2	1	0,5	0,5	1	2	5
15/06/1991 (d1) (mm)	80	70	84	80	88	84	72	74
31/07/1991 (d2) (mm)	104	84	92	120	132	112	92	88
Humidité (Δ %) = $d2 - d1/d1$ (%)	30	20	9	50	50	33	28	17
28/08/1991 (d3) (mm)	112	90	92	140	152	128	92	100
Humidité (Δ %) = $d3 - d1/d1$ (%)	40	28	9	75	73	52	27	35
07/10/1991 (d4) (mm)	88	96	96	96	112	108	92	84
Humidité (Δ %) = $d4 - d1/d1$ (%)	10	37	14	17	27	29	28	14
Campagne 1992								
02/11/1992 (d1) (mm)	83	80	87	87	87	90	94	96
15/06/1992 (d2) (mm)	77	73	92	111	114	101	77	77
Humidité (Δ %) = $d2 - d1/d1$ (%)	-7	-7	6	27	31	12	-18	-19
28/07/1992 (d3) (mm)	87	90	108	122	139	132	143	94
Humidité (Δ %) = $d3 - d1/d1$ (%)	4	12	24	40	59	46	52	-2
19/08/1992 (d4) (mm)	94	87	108	136	143	139	111	80
Humidité (Δ %) = $d4 - d1/d1$ (%)	13	8	24	56	64	54	18	-16
29/09/1992 (d5) (mm)	97	97	111	122	132	130	118	101
Humidité (Δ %) = $d5 - d1/d1$ (%)	16	21	27	40	51	44	25	5

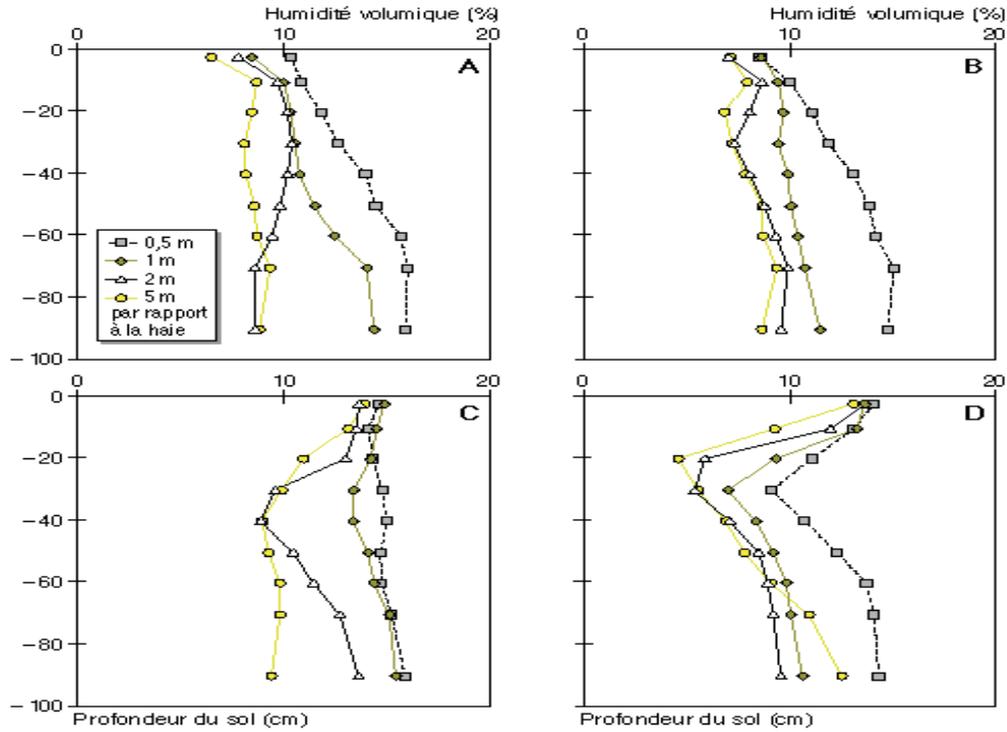


Figure 4. Profils hydriques en amont (A et C) et en aval (B et D) des haies vives le 28 juillet 1991 (A et B) et le 2 septembre 1992 (C et D).

Par ailleurs, le suivi au cours du temps des profils hydriques en relation avec la haie vive a montré une forte variation des stocks d'eau par rapport à la distribution de la pluviosité (tableau III) et en fonction de la saison (figure 5).

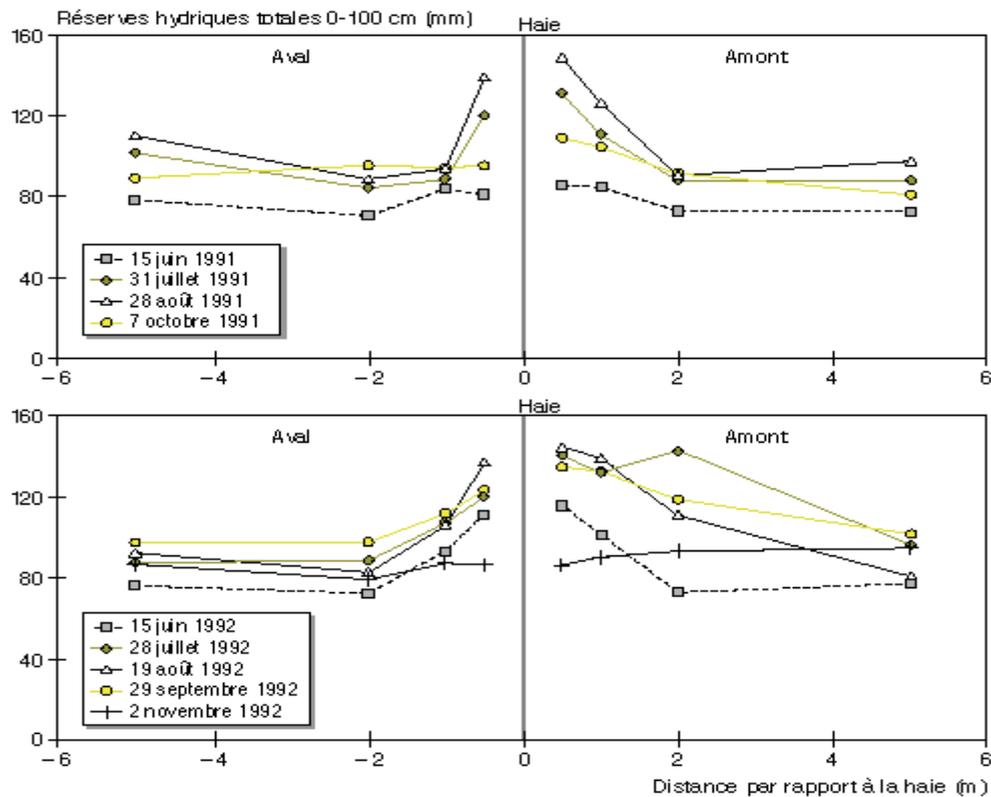


Figure 5. Influence des haies vives sur le stock hydrique du sol sur la tranche 0 à 100 cm.

Les stocks d'eau mesurés respectivement avant la première averse de la saison (15 juin 1991), au cours de la saison des pluies (31 juillet et 28 août pour l'année 1991 ; 15 juin, 28 juillet, 29 août et 29 septembre en 1992) et après la dernière averse (7 octobre 1991 et 2 octobre 1992) sont reportés au *tableau II*. Il faut souligner que, en 1992, à défaut d'une mesure avant la première averse, nous avons considéré le profil du 2 novembre correspondant à un mois après la dernière averse (arrêt de la saison des pluies) comme étant le profil de référence (profil sec). Ce tableau résume les principaux résultats que l'on peut tirer de ces deux années de suivi du stock hydrique du sol en fonction de l'éloignement de la haie vive et l'évolution de la pluviométrie. Il apparaît, en effet, une différence entre le 15 juin 1991 et le 2 novembre 1992, dates de référence qui correspondent aux profils secs, et les autres dates (profils humides) au cours des deux campagnes de mesure (1991 et 1992). L'analyse des résultats portés sur le *tableau II* permet de constater que :

* en 1991, avec une pluviosité déficitaire de l'ordre de 482,5 mm en moyenne (normale de l'ordre de 700 mm), le stock hydrique entre le profil sec (15 juin) et le profil le plus humide (28 août) a augmenté respectivement de 75 % à 0,50 m, 9 % à 1 m, 28 % à 2 m et 40 % à 5 m en aval et de 73 % à 0,50 m, 52 % à 1 m, 28 % à 2 m et 35 % à 5 m en amont de la haie vive ;

* en 1992, avec une pluviosité meilleure (*tableau III*), le stock hydrique entre le profil sec (2 novembre) et le profil le plus humide (29 septembre) a augmenté respectivement de 40 % à 0,50 m de la haie vive, 27 % à 1 m, 21 % à 2 m et 17 % à 5 m en aval ; et 52 % à 0,50 m de la haie vive, 44 % à 1 m, 25 % à 2 m et 5 % à 5 m en amont.

Tableau III. Données pluviométriques (mm) en 1991 et 1992											
Mois	Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre	Octobre	Total
Jours	15	31	15	30	15	31	15	31	15	30	15
Cumuls 1991	0	0	0	0	82	140,2	200,4	264,3	360,6	407,2	482,5
Cumuls 1992	0	81,5	120,5	169,4	196,4	308,6	396,1	449,7	507,2	584,4	641,5
Nombre jours de pluie (1991)	0		0		8		9		7		27
Nombre jours de pluie (1992)	1		3		10		12		10		40

Ce résultat montre que, entre le profil sec et le profil le plus humide, **le stock d'eau a augmenté davantage au voisinage immédiat (0 à 2 m) de la haie vive qu'à l'extérieur de celle-ci (2 à 5 m)**. Le stock hydrique a augmenté davantage en 1991 qu'en 1992. En revanche, en fin de saison des pluies, on remarque une diminution importante du stock d'eau à proximité immédiate de la haie vive (profil du 2 novembre 1992). Cette diminution est plus prononcée sous la haie (0,5 m).

La *figure 6* résume les rendements des cultures d'arachide et de mil obtenus au cours des deux années d'observations. L'examen de cette figure montre que le **rendement des cultures a tendance à décroître à proximité immédiate de la haie vive**. On remarque cependant que cet effet dépressif de la haie vive est plus sensible pour le mil.

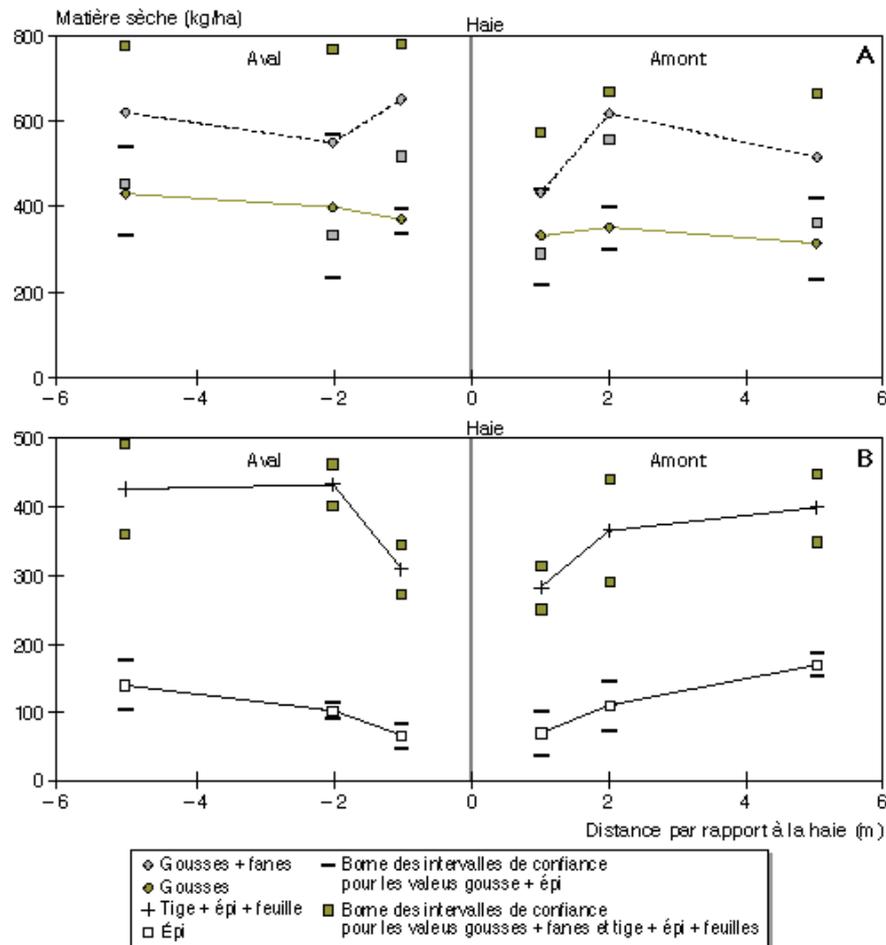


Figure 6. Effets de la haie vive sur les cultures d'arachides 1991 (A) et de mil 1992 (B).

Ce résultat est confirmé par l'analyse de variance réalisée sur la production totale des parties aériennes (gousses + fane et gousse) pour l'arachide, (épis + tiges + feuilles et épis) pour le mil. Les résultats de cette analyse reportés au *tableau IV* montrent, au seuil de 5 %, une différence significative pour le mil et non significative pour l'arachide.

Tableau IV. Effet de la haie vive sur la production des cultures (test de Newman Kheuls au seuil de 5 %) de mil et d'arachide

Distance par rapport à la haie vive	Produits (moyennes) kg.ha ⁻¹	Groupes homogènes
Mil		
5 m	2 841,67	A
2 m	2 529,17	B
1 m	1 825,50	C
Arachide		
5 m	479,17	D
2 m	470,83	D
1 m	445,83	D

Discussion

La différence observée entre le profil sec et le profil le plus humide suggère une capacité de stockage d'eau importante à proximité de la ligne d'arbres. Perez *et al.* [16] montrent une différence de l'évapotranspiration entre les zones proximale (0,5 à 1 m) et externe (2 à 5 m) de la haie vive. Ils trouvent un ratio de 1:3 en faveur de la proximité à la haie vive. Cependant, le stock d'eau a partout

augmenté quelle que soit la distance à la haie en amont comme en aval. Les valeurs du stock hydrique observées en 1991 sont plus élevées que celles enregistrées en 1992 malgré la pluviosité nettement meilleure en 1992. Par conséquent, le profil du 2 novembre 1992 considéré comme référence n'est en réalité pas un profil sec. Cela suppose qu'il **y a encore un stock d'eau relativement important sous la haie vive, un mois après l'arrêt de la pluie**. Ce stock d'eau a cependant fortement diminué à 0,5 m de la ligne d'arbres, ce qui traduit **une augmentation de la consommation en eau des arbres**. Cependant, il faut souligner que, en saison des pluies, l'effet perte d'eau au voisinage immédiat de la haie vive par évapotranspiration est atténué par l'apport du ruissellement et l'infiltration.

Les stocks d'eau mesurés en aval et en amont de la haie vive entre les profils secs et humides pour les deux années montrent **des valeurs plus élevées en amont**. En moyenne, ces valeurs sont de 48 et 31,5 % en amont et de 38 et 27,25 % en aval respectivement en 1991 et 1992. La réduction du ruissellement par la haie vive se traduit par une augmentation de l'infiltration avec une amélioration plus nette du profil hydrique sur une distance de 2 m en amont et de 1 m en aval de la haie. Kiepe [17] a travaillé sur des haies de **Cassia siamea au Kenya** et trouve que celles-ci **diminuent de 23 % les pertes d'eau par ruissellement**.

Il y aurait donc, pendant la phase pluvieuse, une capacité de stockage d'eau plus grande sur la ligne d'arbres due probablement à l'amélioration de la structure du sol (bonne porosité) favorable à l'infiltration.

Perez *et al.* [16] ayant travaillé dans la même zone indiquent, en moyenne, des vitesses d'infiltration de 90 mm/h, quel que soit le type de sol.

Concernant les cultures, au bout de deux années d'évaluation, on observe un effet dépressif de la haie vive sur le mil qui diminue à mesure qu'on s'éloigne du couvert ligneux. Ainsi, au voisinage immédiat de la haie vive (0,5 m), le rendement de mil est des plus bas. Ce résultat obtenu est corroboré par ceux des travaux antérieurs. En effet, la littérature agroforestière rapporte des cas de concurrence entre arbres et cultures. Singh *et al.* [18] ont évalué l'effet de quelques espèces ligneuses sur les cultures de sorgho et de pois dans un système de culture en couloirs. Ils ont montré des valeurs d'indice de surface foliaire, **de rendement en grain, de matière sèche totale de sorgho et de pois plus élevées dans des parcelles de culture pure (sans arbres) et dans les parcelles situées au milieu des allées de sorgho et de pois que dans celles qui avoisinent les arbres**. De même, Mouteith *et al.* [19] ont montré, avec une culture de mil en association avec des ligneux, que les rendements ont fléchi dans les parcelles proches des arbres et peuvent dépasser 50 % des rendements en monoculture selon certains auteurs. Aussi, Salazar *et al.* [20] ayant étudié les effets de haies de *Leucaena leucocephala* et *Erythrina* sp. sur la culture du riz *Oriza sativa* var. *Carolina* observent **une réduction de 60 % des rendements à proximité immédiate de la haie vive** (0,5 m).

En ce qui concerne la production d'arachide, il n'y a pas eu d'effet net de la haie vive. Pourtant cette espèce (*Arachis hypogea*) est citée parmi celles qui s'adaptent le moins facilement à la culture intercalaire.

La concurrence des arbres se marque à la fois par l'occupation des racines, la consommation d'eau et de fertilisants, et par l'ombrage. L'effet dépressif de la haie sur le mil à faible distance alors qu'il y a plus d'eau près de celle-ci conduit à des interrogations. Les cultures peuvent également subir **des pertes de rendement du fait de l'action phytotoxique des arbres**. En effet, chez certaines essences, il se produit des réactions allélopathiques provoquées par des substances contenues dans les feuilles tombées à terre ou par des exsudats racinaires toxiques (phénols). Tian et Kang [7] ont mis en évidence l'action phytotoxique de la litière de *Gliricidia sepium* sur les cultures. Ces auteurs ne se sont pas intéressés aux rendements, mais se sont focalisés sur la croissance des plants de maïs et de pois.

Le mil (plante C4) et l'arachide (C3) ont-ils les mêmes exigences en lumière et les mêmes efficacités en eau ? À cette question, Annerose [21] et Fournier [22] ont montré **que le mil est plus exigeant que l'arachide pour la lumière**. Les plantes C4 incorporent davantage de carbone avec une utilisation plus efficace de l'eau, à ouverture stomatique égale, que les plantes C3. En effet, **pour l'eau, l'arachide est plus exigeant que le mil**.

Pearcy et Ehlinger [23], ayant étudié l'assimilation de carbone de trois espèces herbacées désertiques de type C4, ont trouvé une forte corrélation entre l'assimilation de carbone et l'énergie reçue par les feuilles. Mordélet [24] trouve la même chose pour *Hyparrhenia diplandra* en Côte d'Ivoire. On pourrait

donc tenter d'expliquer la chute du rendement de mil **par l'effet d'ombre des arbres qui réduit l'efficacité photosynthétique de cette plante.**

Contrairement à l'arachide, le mil exploite-t-il la même zone racinaire que les arbres de la haie vive ? Les résultats obtenus suggèrent qu'il y a suffisamment d'eau sous la zone d'influence de la haie vive pour qu'il se pose un problème de compétition hydrique entre la culture et les arbres. En plus, dans la même zone, **la profondeur moyenne d'enracinement est de 1,5 m pour l'arachide et 1,7 m pour le mil.** Ces profondeurs de loin supérieures à celles considérées dans cette étude révèlent que les cultures peuvent encore disposer de stocks d'eau en profondeur.

L'amélioration des profils hydriques par réduction du ruissellement peut s'accompagner d'une lixiviation lors du drainage profond. La lixiviation importante à proximité de la haie vive entraînerait une malnutrition minérale du mil dans une zone racinaire identique à celle des arbres [25]. Ces derniers concluent que le **drainage cause soit une lixiviation de l'azote, soit une asphyxie des racines.**

En plus, Tian et Kang [7], sur les cultures de haricots et de maïs, trouvent que la concurrence des racines est plus prononcée que celle pour la lumière. Des élagages des racines et des couronnes des ligneux ont permis à ces auteurs de minimiser les concurrences. Mureithi *et al.* [5] ont été confrontés à une baisse de 30 % des rendements en graines du maïs à proximité de la haie de *Leucaena leucocephala*. Ces auteurs ont par la suite obtenu une hausse des rendements de 44 % en appliquant le *mulching* de la totalité des feuilles des arbres.

Donc, le problème de ces interactions arbres/cultures se poserait davantage en termes de réactions allélopathiques, provoquées par des substances contenues dans les feuilles tombées à terre ou par des exsudats racinaires toxiques, ou de concurrence à la lumière, ou de lixiviation, selon les résultats de Okorio *et al.* [6] et de Daouda *et al.* [25]. **La concurrence racinaire est largement compensée par l'épandage d'engrais vert de certaines espèces ligneuses** [6]. Ces résultats posent des **interrogations sur le choix des espèces ligneuses à utiliser dans les associations arbre/culture.**

CONCLUSION

L'efficacité de la haie vive sur les phénomènes du ruissellement et de l'infiltration est bien établie et on observe :

- une réduction de ruissellement qui se traduit par l'augmentation de l'infiltration avec une amélioration du profil hydrique sur une distance de 2 m en amont et de 1 m en aval ;
- une très forte diminution du stock d'eau à proximité immédiate de la haie vive (profil du 2 novembre 1992) un mois après l'arrêt de la pluie. Il semble donc que le gain d'infiltration soit en grande partie utilisé par la haie vive pour les besoins des arbres en début de saison sèche.

Sur le plan de la production des cultures, on constate une baisse des rendements à proximité des haies plus importante pour le mil que pour l'arachide.

En définitive, **la haie vive isohypse permet de réduire la vitesse du ruissellement, d'augmenter l'infiltration sous les arbres et de limiter en conséquence les transferts d'eau vers l'aval. Son influence négative sur le rendement semble ne concerner que le mil, à proximité immédiate de la haie.**

Dans un écosystème de plus en plus menacé et fragilisé par une dégradation continue des ressources ligneuses, il apparaît nécessaire de conserver, voire d'améliorer, et de gérer les ressources existantes. Les apports dans ce domaine d'une haie vive isohypse à l'échelle du bassin versant se situent à différents niveaux :

- un cloisonnement du paysage dégradé par la réintroduction de l'arbre dans le système de cultures, pouvant conduire à un embocagement progressif ;
- un renforcement des capacités de gestion intégrée des ressources naturelles, en particulier ligneuses à l'échelle du terroir villageois, des populations rurales ;
- une appropriation des techniques agroforestières, notamment la haie vive, par les populations, en facilitant leur diffusion à différents niveaux d'échelles géographiques (bassin versant, terroirs villageois, petites régions agricoles) et de type d'organisation sociale (ferme individuelle/familiale, association villageoise/communautaire).

REFERENCES

1. **Fontanel P., 1986.** *État des végétations de parcours dans la communauté rurale de Kaymor (Sud Sénégal, Saloum). Effets de la pression anthropique dans les différents milieux et capacité de récupération.* Montpellier : Cirad-Irat; D : S. P. n°28 ; 41 p.
2. **Trochan J. , 1940.** *Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal.* Paris : Librairie Larose, 433 p.
3. **Roose E., 1984.** Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux. *Machinisme Agric Tropical* ; 87 : 24-36.
4. **Banda AZ, Maghembe JA, Ngugi DN, Chome VA., 1994.** Effect of intercropping maize and closely spaced *Leucaena* hedgerows on soil conservation and maize yield on a steep slope at Ntchen. *Agroforestry Systems*; 27 : 17-22.
5. **Mureithi JG, Tayler RS.,1994.** Thorpe W. The effects of alley cropping with *Leucaena leucocephala* and of different management practices on the productivity of maize and soil chemical properties in lowland coastal Kenya. *Agroforestry Systems* ; 27 : 31-51.
6. **Okorio J, Byenka S, Wajja N, Peden D.** Comparative performance of seventeen upperstorey tree species associated with crops in the highlands of Uganda. *Agroforestry Systems* ; 26 : 185-203.
7. **Tian G, Kang BT., 1994.** Evaluation of phytotoxic effects of *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp prunings on maize and cowpea seedlings. *Agroforestry Systems* ; 26 : 249-54.
8. **Depommier D. , 1991.** Propagation et comportement d'espèces à usages multiples en haies vives pour la zone sahélo-soudanienne : résultats préliminaires d'essais menés à Gonse et Dinderosso (Burkina Faso). In : *Physiologie des arbres et arbustes en zones aride et semi-aride.* Groupe d'étude de l'arbre : 155-65.
9. **Reyniers FN, Forest F., 1990.** La pluie n'est pas le seul remède à la sécheresse en Afrique. *Sécheresse* ; 1 : 36-9.
10. **Le Houérou HN. , 1989.** *The grazing land ecosystems of African Sahel. Ecological Studies 75.* Berlin : Springer-Verlag ; 282 p.
11. **Diatta M. , 1994.** *Mise en défens et techniques agroforestières au Sine-Saloum (Sénégal). Effets sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire.* Strasbourg : Doctorat Université scientifique Louis-Pasteur ; 202 p.
12. **Bertrand R., 1972.** Morphologie et orientations culturelles des régions soudanaises du Sine Saloum (Sénégal). *Agronomie Tropicale* ; 11 : 1115-90.
13. **Ange A. , 1985.** Stratification des paysages agraires pour l'identification des contraintes à la production agricole, la mise au point et l'essai de solutions techniques. In : ISRA/Département systèmes, ed. *La recherche agronomique pour le milieu paysan.* Nianing (Sénégal) : ISRA (Actes d'atelier): 40-55.
14. **Brouwers M., 1987.** *Études morphopédologique et hydropédologique dans la région de Thyssé Kaymor (Sine-Saloum).* Montpellier : Cirad ; DRM/L LPM n°5 ; 40 p.
15. **Roose E., 1986.** Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne. *Cah ORSTOM, sér Pédologie* ; 2 : 197-208.
16. **Perez P, Albergel J, Diatta M, Grouzis M, Sene M., 1998.** Rehabilitation of a semi-arid ecosystem in Senegal 2. Farm-plot experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* : 1-11.
17. **Kiepe P., 1996.** Cover and barrier effect of *Cassia siamea* hedgerows on soil conservation in semi-arid Kenya. *Soil Technology*, 9 : 161-71.
18. **Singh RP, Ong CK, Saharan N., 1989.** Above and below ground interaction in alley-cropping in semi-arid India. *Agroforestry Systems*; 9 : 259-74.
19. **Monteith JL, Ong CK, Corelett JE., 1991.** Microclimatic interaction in agroforestry systems. *Forest Ecol Management* ; 45 : 31-44.

- 20. Salazar A, Szott LT, Palm CA.** Crop-tree interactions in alley cropping systems on alluvial soils of the Upper Amazon Basin. *Agroforestry Systems* 22 : 67-82.
- 21. Annerose D., 1990.** *Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (Arachis hypogea L.) cultivé au Sénégal.* Paris : Thèse d'Université Jussieu ; 281 p.
- 22. Fournier A., 1991.** *Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique.* Paris : Orstom Ed., Coll. Études et thèses ; 312 p.
- 23. Pearcy RW, Ehlinger J., 1984.** Comparative ecophysiology of C3 and C4 plants. *Plant Cell Env*, 7 : 1-13.
- 24. Mordelet P., 1993.** Influence of tree shading on carbon assimilation of grass leaves in Lamto savanna, Côte d'Ivoire. *Acta Oecologica* : 119-27.
- 25. Daouda OS, Emmanuel R, Mirini O. , 1993.** Rôle du système racinaire dans la résistance à la sécheresse chez le mil : analyse de la rhizogenèse post-florale. In : Hamon S, ed. *Le mil en Afrique : diversité génétique agrophysiologique : potentialités et contraintes pour l'amélioration génétique et l'agriculture.* Paris : Orstom, Coll. Colloques et séminaires: 188-204.

Effets des plantations forestières sur banquettes sur le ruissellement et l'érosion par rapport aux parcours dans les montagnes semi arides du Haut-Atlas de Marrakech (Maroc)

CHEGGOUR Aouatif ⁽¹⁾, SIMONNEAUX Vincent ⁽²⁾, ROOSE Eric ⁽³⁾

¹ Projet SudMed, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, Maroc. a.cheggour@ucam.ac.ma

² CESBIO - IRD, 18 Av. Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France. simonneaux@ird.fr

³ IRD- SeqBio, BP.64501, F34394 Montpellier, France. Eric.Roose@ird.fr

Résumé

L'érosion hydrique est un phénomène qui porte préjudice aux ressources en eau et en sol des bassins versants du Maroc. L'objectif de ce travail est de quantifier l'effet des aménagements (replantations forestières de pins essentiellement, associées à la création de banquettes) à partir de mesures réalisées sur parcelles d'érosion (150 m²) sous pluies naturelles installées sur deux types de sols contrastés et importants dans le bassin versant de l'oued Rhéraya (argilites permo-triasiques et substrat magmatique), situé dans le Haut Atlas Occidental du Maroc.

Cinq années d'observations ont montré que dans la majorité du bassin les événements provoquant du ruissellement sont rares et ne produisent que peu de sédiments (entre 0.03 et 1.1 t.ha⁻¹.an⁻¹). Par contre, le ruissellement est plus fréquent et l'érosion nettement plus importante sur le sol nu des ravines argileuses (340 t.ha⁻¹.an⁻¹). Les plantations de pins sur banquettes sur argilites rouges ont montré leur efficacité pour le blocage du ruissellement et de l'érosion lorsqu'elles sont encore fonctionnelles. Inversement, les banquettes non entretenues (banquettes comblées de sédiments et sol sans végétation observées sur substrat magmatique) augmentent le ruissellement et l'érosion.

Mots clés : Maroc, Haut Atlas, érosion, ruissellement, parcelles d'érosion, replantations forestières, banquettes, entretien.

Abstract

Water erosion has a strong negative impact on soil and water resources in Morocco. The objective of this work is to quantify effect of management (Pine Plantation associated with the creation of graded terraces) from measurements on erosion plots (150 m²) with natural rainfall installed on two contrasting soil types in the Rheraya watershed (red clay Permo-Triassic and magmatics rocks) in the Western High Atlas of Morocco.

Five years of observation have shown that on the majority of the catchment, rainfall events causing runoff are rare and produce little sediments (between 0.03 and 1.1 t.ha⁻¹.an⁻¹). Conversely, runoff is more frequent and erosion much higher in gullies on red clay (340 t.ha⁻¹.an⁻¹). The pine plantations associated with embankments and ditches showed their strong effectiveness for blocking runoff and erosion when they are still functional. Conversely, those that were not maintained, with ditches filled with sediments, have no more or even a strong negative effect.

Keywords: Morocco, High Atlas, erosion, runoff, erosion plots, pine plantation, graded terraces, maintenance.

Introduction

Au Maroc, les problèmes d'érosion hydrique se sont accentués ces dernières décennies à cause de la pression foncière : les défrichements et le surpâturage ont entraîné la dégradation du couvert végétal et par la suite l'augmentation du ruissellement et de l'érosion. Cependant les évaluations quantitatives sont rares, notamment en montagne où l'érosion représente un enjeu d'un point de vue agronomique et écologique, mais aussi du point de vue de l'envasement des barrages, estimé annuellement à 60 Mm^3 pour le Maroc, soit une perte annuelle de 0.5% de la capacité des réservoirs. Pour lutter contre ce problème, la direction des Eaux et Forêts réalise depuis les années 1950 des plantations forestières de pins essentiellement, associées à la création de banquettes (talus + fossé perpendiculaires à la pente) qui bloquent le ruissellement et l'érosion et permettent ainsi d'entretenir l'humidité nécessaire au développement des arbres. L'objectif est également une fois ces arbres développés et couvrants, de protéger le sol contre l'agressivité de la pluie. L'observation visuelle montre que bien souvent dans l'Atlas ces aménagements ne semblent plus jouer le rôle escompté.

L'objectif de ce travail est de quantifier l'effet de ce type d'aménagement à partir de mesures réalisées sur parcelles d'érosion sous pluies naturelles installées dans le bassin versant de la Rhéraya, dans le Haut Atlas Occidental du Maroc.

Matériels et méthodes

L'étude concerne le bassin versant de l'oued Rhéraya (228 km^2), situé dans le Haut-Atlas de Marrakech (Maroc), dont les altitudes varient de 925m à 4165m. Le climat est semi-aride, caractérisé par une grande irrégularité spatiale et temporelle des précipitations, dont une partie tombe sous forme d'orages et une autre sous forme de neige. L'hétérogénéité spatiale de la pluie est due au relief (de 300 à 900 mm.an^{-1} , pour une moyenne de 360 mm.an^{-1}).

Du point de vue géologique, les substratums affleurant dans le bassin sont très variés. La zone aval du bassin comprend des argiles rouges permotriasiques extrêmement érodibles lorsqu'elles sont nues, alors que les deux tiers amonts sont constitués par des formations magmatiques nettement plus stables. La végétation naturelle est constituée de quelques boisements plus ou moins denses de thuya au nord du bassin, et de steppes à chaméphytes partout ailleurs, en général très dégradées par le surpâturage et les prélèvements anthropiques (pour cuire le pain).

Sur les principales unités de paysage, des mesures d'érosion in situ sont réalisées. Cinq parcelles d'érosion de 150 m^2 , installées sur deux types de sols contrastés et importants dans le bassin (figure 1), soit du point de vue de surfaces occupées (deux parcelles sur roches magmatiques: parcours, plantation), soit du point de vue de la contribution à l'érosion (trois parcelles sur argillites permotriasiques : parcours, plantation, sol nu (badlands). Ce dispositif permet de comparer pour chaque situation des états avec ou sans aménagements.

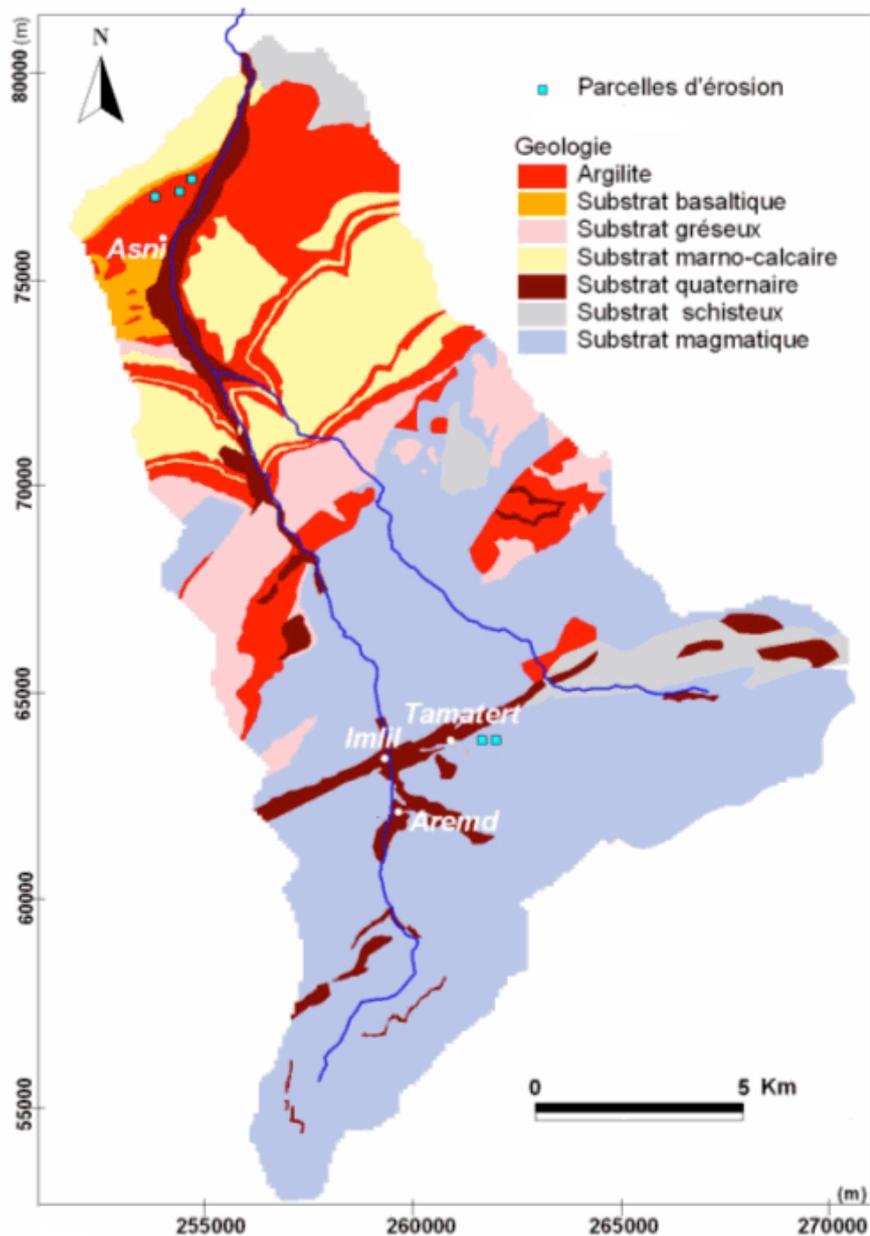


Figure 1 : Localisation des parcelles d'érosion dans le bassin versant du Rhéraya

Résultats et discussions

Cinq années d'observation ont montré que dans la majorité du bassin, les évènements provoquant du ruissellement sont rares et ne produisent que peu de sédiments (entre 0.03 et $1.1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$). Inversement, le ruissellement est plus fréquent et l'érosion nettement plus importante sur le sol nu des ravines argileuses ($340 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$).

Le coefficient de ruissellement moyen annuel varie de 1,4% à 8,1% sur toutes les parcelles et elle est de 40 % sur la ravine nue (figure 2). A part la ravine qui reste

un cas particulier, ces chiffres montrent que le ruissellement de surface reste un phénomène quantitativement faible et qu'une très grande proportion de la pluie s'infiltré dans le sol. Ces résultats confirment les mesures effectuées par Heusch dans le Rif (Heusch, 1970), qui a montré que le ruissellement moyen varie de 0 à 30% selon les situations, mais il reste en général inférieur à 10%. En revanche, le ruissellement maximum a atteint des valeurs relativement élevées sur la ravine nue jusqu'à 65%, ce qui est concordant avec les résultats trouvés par Roose et al., 1993, puis par Morsli et al. (2004), et dont le coefficient de ruissellement a atteint 56% et 80% sur des sols nus en Algérie.

Les trois sites sur argilites illustrent bien les situations possibles selon l'état d'entretien de l'environnement, on passe de 340 t/ha/an sur sol nu, à 1,1 t./ha/an sous parcours et à 0,05 t./ha/an sous une plantation de pins de 40 ans sur banquettes. Ces sols deviennent donc extrêmement sensibles à l'érosion quand ils sont dénudés et ravinés, alors que les aménagements se montrent efficaces lorsqu'ils sont entretenus. Face à ces risques d'érosion, il est possible de protéger ces versants par des seuils et des banquettes et les stabiliser par des plantations.

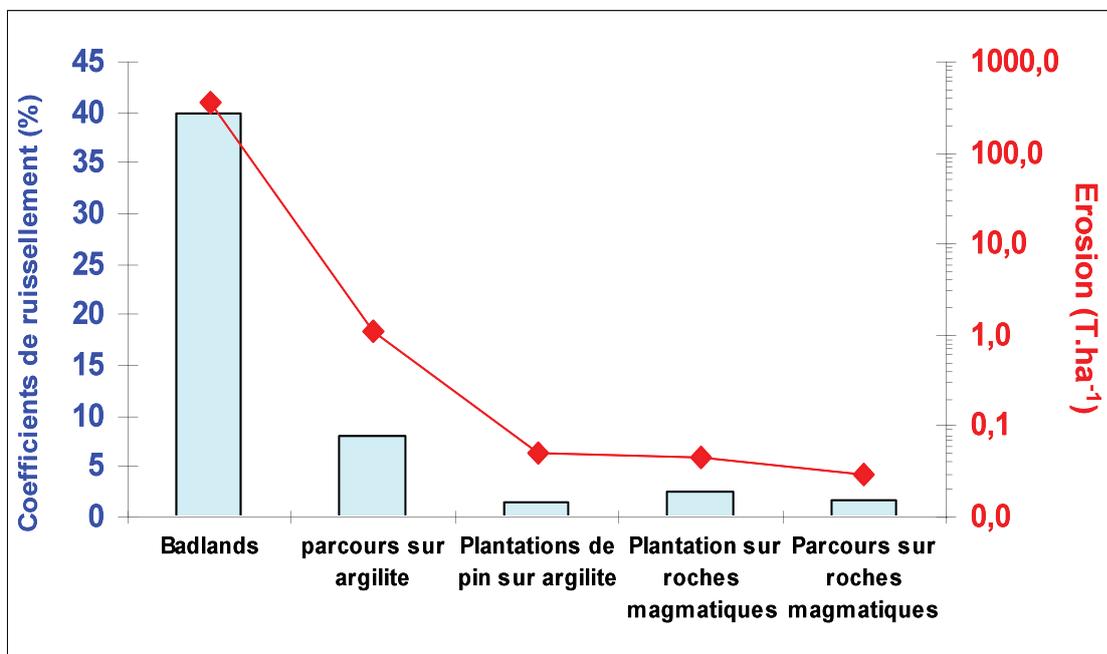


Figure 2 : Résultats des parcelles d'érosion dans le bassin versant du Rhéraya

Sur les substrats magmatiques, la parcelle sur parcours produit 4 fois moins de sédiments que celle sous plantation de pins. Ceci, peut être expliqué par l'absence de végétation herbacée sur la parcelle de pins suite au pâturage par les chèvres et par le comblement des éléments de banquettes. Il semble ici que contrairement à ce qui se passe sur les argilites, la plantation n'ait pas l'effet positif escompté. Cela n'est pas surprenant si on regarde les états de surface, puisque le sol ne comporte aucune végétation ni rugosité susceptible de freiner le ruissellement. Cette différence illustre que, comme cela avait été constaté visuellement sur les

argilites, les plantations mal entretenues (strate herbacée broutée par les chèvres et banquettes comblées) n'ont plus d'effet bénéfique sur la réduction du ruissellement. Ici on est même arrivé à situation pire qu'avant l'aménagement car le parcours voisin se comporte mieux : en effet les pluies sont interceptées à la limite de la plantation de pins. Ces conclusions sont en accord avec celles de Lacombe (2007), qui observe les mêmes problèmes en Tunisie. Les nombreuses banquettes réalisées pour limiter les crues ont un effet négatif par rapport à la situation avant aménagement si elles ne sont pas entretenues pour conserver leur effet de blocage des ruissellements.

Conclusion

Les plantations de pins sur banquettes sur argilites rouges ont montré une bonne efficacité pour le blocage du ruissellement et de l'érosion lorsqu'elles sont encore fonctionnelles, mais leur non entretien montre un retour de l'érosion, potentiellement plus fort qu'initialement étant donné la forte perturbation du sol provoquée par l'installation de ces banquettes qui dégage la couche de colluvions caillouteuses protectrices originales.

Sur terrain magmatique, les banquettes associées aux plantations n'ayant pas été entretenues (banquettes comblées et sol sans végétation herbacée) montrent une augmentation du ruissellement et l'érosion, car le sol sous plantation est lisse, surpâturé par les chèvres et dégage de toute végétation pouvant ralentir le ruissellement. Sur le parcours, les touffes de *Chamaephytes* protègent des buttes de sol tandis qu'entre ces buttes circule le ruissellement sur un glaciais de cailloux dégagés par le ruissellement concentré

Références bibliographiques

Heusch B. 1970. L'érosion du Pré Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique. *Ann de la Recherche Forestière du Maroc* 12: 9-176.

Lacombe G. 2007. Evolution et usages de la ressource en eau dans un bassin versant aménagé semi-aride. Le cas du Merguellil en Tunisie centrale. Thèse de Doctorat. Université Montpellier, 283 p.

Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Hamoudi A., Roose E. 2004. Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, 15, 1 : 96-104.

Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M., Morsli B., 1993. Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. *Cah.ORSTOM Pédol.*, 28, 2 : 289-308.

Potentiel du *Jatropha curcas* pour le développement économique, le reboisement, et l'aménagement de bassins-versants en Haïti.

Gaël Pressoir

gael.pressoira@chibas-bioenergy.org

www.chibas-bioenergy.org

Résumé

Le *Jatropha curcas* comestible (variétés non-toxiques) est appelé à devenir une culture multi-usage (alimentation animale et énergie) pouvant contribuer à la réhabilitation de l'environnement (reboisement et conservation des sols) et à l'extension de l'espace agricole (utilisation et valorisation des terres marginales). Il permettrait de produire localement et donc de remplacer les importations de produits pour lesquels il existe une forte demande en Haïti: (1) des briquettes de charbon à partir des cosses (déchets du fruit et de la graine); (2) du tourteau pour l'alimentation animale; (3) du biocarburant pour les centrales électriques; (4) du biodiesel pour les réchauds, les lampes et les véhicules automobiles.

Le *Jatropha* peut pousser sur des terres sablonneuses et marginales impropres à l'agriculture (on peut penser aux vastes étendues de mornes calcaires, par exemple dans le Nord d'Ouest d'Haïti, qui ne sont pas cultivées et où pourrait être cultivé le *Jatropha*). Le *Jatropha* est potentiellement un outil pour le reboisement puisque c'est une culture pérenne qui pourrait fournir des revenus aux agriculteurs: c'est une plante économiquement utile, elle ne fait pas de charbon de bois et elle ne craint pas les animaux (le *Jatropha* est traditionnellement utilisé pour réaliser des haies vives et maintenir les cabris à l'écart des cultures). Le *Jatropha* permet de lutter contre l'érosion et la déforestation et de récupérer ainsi des terres mises à nu par le déboisement sauvage et perdues pour l'agriculture.

Nous présenterons les résultats préliminaires sur la possibilité d'établissement d'une filière autour du *Jatropha* en Haïti au travers: (1) des stratégies à mettre en place; (2) de la quantité de terres disponible pour l'établissement d'une telle filière; (3) du potentiel de création d'emplois de la filière.

Mots clés: Aménagement bassin-versant, Etude de filière, *Jatropha curcas*, Sécurité alimentaire, Systèmes d'information géographique.

INTRODUCTION

Les deux premiers postes à l'importation en Haïti sont les produits pétroliers et les produits alimentaires. Ensemble, ils représentent les deux tiers de nos importations ; des importations sans cesse grandissantes qui creusent le déficit de la balance des paiements (la valeur des importations est pratiquement quatre fois plus élevée que celle des produits exportés). Cette dépendance sans cesse croissante vis-à-vis des produits importés fragilise l'économie haïtienne.

Un autre défi à relever en Haïti, et qui n'est pas sans relation avec les deux précédents, consiste à mettre un frein au désastre environnemental causé par le déboisement. La coupe effrénée des arbres met en péril non seulement la sécurité des vies et des biens du fait des inondations à répétition qui en découlent, elle contribue également à la réduction de la production agricole par la perte des terres arables ; on peut également souligner le non-renouvellement de la première source de « bio » combustible utilisé dans le pays, en l'occurrence le bois et le charbon de bois. Peut-on en Haïti adresser simultanément, les défis d'ordre environnementaux liés au déboisement, la sécurité alimentaire, et la sécurité énergétique ?

Enfin, le deuxième marché dans le pays est le marché du diesel (juste après le riz). Non seulement la moitié du parc automobile fonctionne au diesel, tout particulièrement les véhicules de transport de marchandises, mais 75% de la production électrique est aujourd'hui également produite par du diesel. Plus de 100 millions de gallons de diesel sont consommés chaque année alors même que le pays est en situation de pénurie énergétique faute de devises pour l'achat d'équipements et de produits pétroliers.

Le *Jatropha curcas* est une culture pérenne, un arbuste, dont l'huile présente la qualité requise pour la production de biodiesel. Dans cet article nous analyserons à la lumière des travaux présentés lors de la première conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen* (ou *Jatropha*) en Haïti les aspects environnementaux, économique et les enjeux pour la sécurité alimentaire de la promotion de la culture du *Jatropha curcas* en Haïti.

I. JATROPHA CURCAS ET GESTION DURABLE DES BASSINS VERSANTS

En Haïti, 60% des terres ont un taux d'inclinaison supérieur à 20%. La majeure partie de ces pentes est fortement déboisée par la pratique présente ou passée d'agriculture de plantes annuelles associées au labourage et souvent même à la culture sur brûlis ; cette forme de déboisement s'accompagne ou est combinée à la déforestation pour prélever du bois de chauffage ou pour la fabrication de charbon. Ces pratiques conduisent à laisser les mornes à nus et du fait de l'érosion intensive qui y est associée, à la perte de la fertilité et à l'abandon par les agriculteurs de toute culture sur ces terres. 72% de l'énergie consommée en Haïti l'est sous la forme de bois ou de charbon de bois et est directement liée à ses pratiques non durables d'exploitation des ressources (BME, Bilan énergétique Haïtien, 2009). La pression démographique et économique sur les zones concernées est telle que jusqu'à présent, les projets de reboisement et d'aménagement des bassins versants n'ont eu que peu d'impact au niveau national. Aussi, l'absence de travail sur les filières économiques et la rentabilité associée aux projets d'aménagement des bassins

versants explique en grande partie l'absence de durabilité de ces projets (Jean Chariot Michel, 2009). Les récentes inondations en Haïti, à la suite de la saison cyclonique de 2008, illustrent la nécessité de promouvoir des solutions techniques durables de reboisement des mornes d'Haïti tout en augmentant simultanément la sécurité économique des cultivateurs.

Il apparaît donc essentiel de promouvoir des structures de conservation des sols jouant en même temps un rôle productif (Jean Chariot Michel, 2009). Le *Jatropha curcas* peut offrir une solution économiquement viable pour la restauration des sols affectés par l'érosion tout en contribuant aux revenus des petits exploitants. Le *Jatropha curcas*, étant un système de culture pérenne et durable, peut contribuer à la reforestation d'Haïti. Le *Jatropha curcas* permettrait de relever le défi de la sécurité énergétique tout en fournissant un revenu aux agriculteurs ; les parois des fruits et les téguments de la graine peuvent être utilisés pour la confection de briquettes de charbon, l'amande est riche en huile qui peut être utilisée pour la fabrication de biodiesel ou être utilisée directement comme biocombustible pour des lampes, réchauds ou le fonctionnement de moteurs à huile.

Le *Jatropha curcas* peut donc répondre à des besoins en combustible et se substituer à l'utilisation du charbon de bois dont la confection est un des facteurs de l'état de dégradation environnemental du pays. Le *Jatropha curcas* est aussi potentiellement un outil extraordinaire pour le reboisement du pays puisque c'est une culture pérenne, un arbuste, qui pourrait fournir des revenus aux agriculteurs : c'est une plante économiquement utile, sa tige ne peut être utilisée pour la fabrication de charbon de bois et elle ne craint pas les animaux (le *Jatropha curcas* est traditionnellement utilisé pour réaliser des haies vives – *lantouray* et maintenir les cabris à l'écart des cultures). Le *Jatropha curcas* permettrait de lutter contre l'érosion et la déforestation et de récupérer ainsi des terres mises à nu par le déboisement sauvage et préalablement perdues pour l'agriculture. Enfin nous pouvons mettre avec le *Jatropha curcas* de la végétation là où il n'y en avait pas et piéger une quantité importante de dioxyde de carbone (CO₂) et contribuer ainsi à la lutte contre le réchauffement climatique.

Toutefois, du fait de la forte pression démographique et du déficit alimentaire chronique en Haïti, il apparaît essentiel que la culture du *Jatropha curcas* ne mette pas en péril la sécurité alimentaire. À ce sujet, Le développement de variétés de *Jatropha* dont le tourteau est comestible pour les animaux d'élevage offre l'opportunité d'encourager la production à la fois pour les produits alimentaires et les biocarburants. Aussi Le *Jatropha* peut potentiellement pousser sur des sols marginaux présentement non-cultivés. Nous devons donc établir des modèles d'utilisation des sols à travers les Systèmes d'Information Géographiques minimisant l'impact de la culture du *Jatropha* sur les cultures annuelles alimentaires traditionnelles.

II. USAGE DES SOLS ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

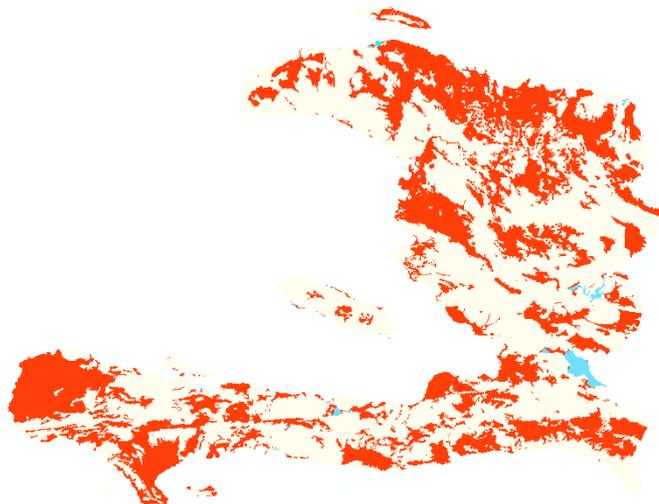
Du fait de la situation de pénurie alimentaire que connaît le pays, il est essentiel que la culture du *Jatropha curcas* n'affecte pas la production alimentaire déjà limitée et plus largement la sécurité alimentaire. La question de la disponibilité des terres en minimisant les risques d'impact socio-économique et environnementaux est

essentielle à l'établissement d'une stratégie nationale de développement de la culture du *Jatropha curcas*.

Une part non négligeable des sols ne sont pas cultivés en Haiti comme l'indique la figure 1 réalisées à partir de la carte d'usage des sols disponible au CNIGS (Figure 1).

Figure 1 : Carte d'usage des sols (Pressoir modifié à partir des cartes du CNIGS, 2009)

En rouge : zones présentant une densité forte ou moyenne de parcelles cultivées



Pour évaluer la quantité de terres disponible pour la culture du *Jatropha* tout en minimisant les risques socio-économique, nous avons exclu les montagnes humides (propice à l'arboriculture fruitière), les zones au dessus de 1000 m d'altitude, les pentes d'inclinaisons supérieures a 40%, les sols a fort potentiel agricole (cultivés ou non) et les zones cultivées (figure 1). Dans la figure 2A nous avons limité l'exclusion à ces facteurs et dans la figure 2B nous avons de plus exclu toutes les plaines, vallées ou plateaux avec une inclinaison inférieure à 12% (cultivées ou non et indépendamment de l'aridité) et également l'ensemble des sections communales à forte densité de population.

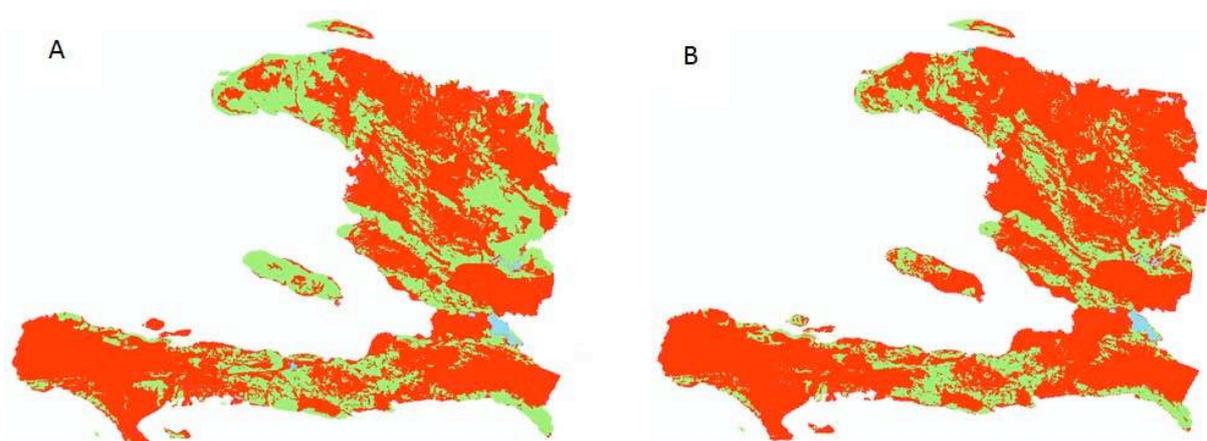


Figure 2 – Les deux modèles minimisent l'impact sur la sécurité alimentaire le modèle 2B de surcroît exclu les zones à forte densité de population ainsi que les zones de pentes d'inclinaison inférieure à 12%. En rouge les zones exclues pour minimiser les risques environnementaux, agro-écologiques et alimentaires, en vert les zones aptes à la culture du *Jatropha curcas* ; 2A : 934,803 hectares disponibles pour la culture du *Jatropha curcas* ; 2B : 642,573 hectares disponibles.

Ces résultats préliminaires (Pressoir et al, 2009 ; une étude plus détaillée devrait débuter en Septembre 2009) suggèrent qu'entre 600,000 et 900,000 hectares de terres subhumides et semi-arides seraient appropriées pour la culture du *Jatropha* sans affecter la sécurité alimentaire et sans empiéter sur les terres aujourd'hui cultivées. Même le modèle le plus conservateur (qui réserve les montagnes humides et l'ensemble des zones de faible inclinaison non cultivées aujourd'hui pour accroître la production alimentaire) laisse une importante surface de terres disponible pour la culture du *Jatropha curcas*. Seuls 350,000 hectares seraient nécessaires pour satisfaire l'ensemble de la consommation actuelle haïtienne de Diesel (BID et USAID/DEED, Etude de faisabilité de la filière Biodiesel, 2009). Il y a donc suffisamment de terres en Haïti pour produire le Biodiesel nécessaire à notre consommation interne tout en minimisant les risques d'impact sur la sécurité alimentaire, l'environnement, et la disponibilité des terres pour accroître la production alimentaire défaillante de l'île.

Les terres ressortant des deux modèles (Figures 2A et 2B) correspondent à ce que l'on appelle en Haïti les « Terres Chaudes ». L'essentiel de ses terres se trouve dans deux zones d'économie alimentaire correspondant à ce que la Coordination Nationale pour la Sécurité Alimentaire (CNSA) définit comme « la zone agro-pastorale sèche » et « la zone sèche d'agriculture et de pêche ». Dans ces zones, la culture du *Jatropha curcas* n'affecterait que marginalement la disponibilité en aliments et la sécurité alimentaire (Gary Mathieu CNSA, 2009). Il a été néanmoins souligné par le porte parole de la CNSA à l'occasion, la nécessité de prendre en compte le paramètre démographique (pris en compte dans la Figure 2B) et estimer la proportion de la population qui bénéficieraient d'une augmentation de ses revenus dans une zone donnée et l'importance de minimiser la diversion des parcelles contribuant à la disponibilité alimentaire dans une zone donnée. Il est clair que les Biocarburants ne résoudront pas l'insécurité alimentaire mais peuvent jouer un rôle dans l'augmentation des revenus et donc de la capacité d'acquérir des aliments dans des zones déjà fortement dépendantes du marché pour l'accès aux aliments

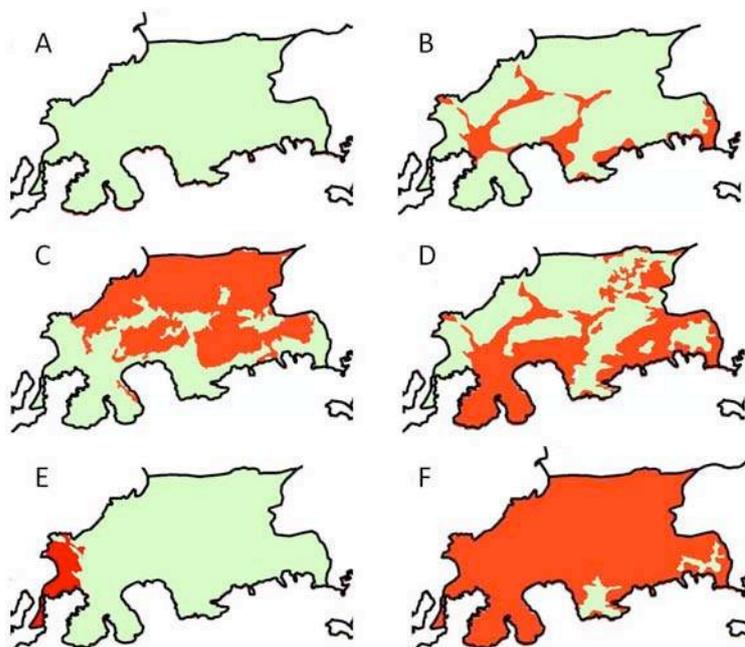
Figure 3 – Carte des Zone d'économie alimentaire (CNSA, 2005)



Ceci souligne l'importance de réaliser une étude préalable à l'établissement d'un projet biocarburants dans une région donnée. Ce type d'étude est en ce moment en cours dans la commune de Saint Louis du Sud (Elie Y et Pressoir G, 2009).

Figure 4 – Carte des risques socio-économique pour la culture du *Jatropha curcas* sur la commune de Saint Louis du Sud (Elie et Pressoir, 2009).

4A : Commune de Saint Louis du Sud ; 4B : en rouge la zone des plaines et vallées fertiles ; 4C : En rouge la zone de faible accessibilité ; 4D : en rouge la zone présentement cultivée et de production vivrière ; 4E : en rouge la zone de culture du Vétiver ; 4F : en vert les zones proposées pour la culture du *Jatropha curcas*

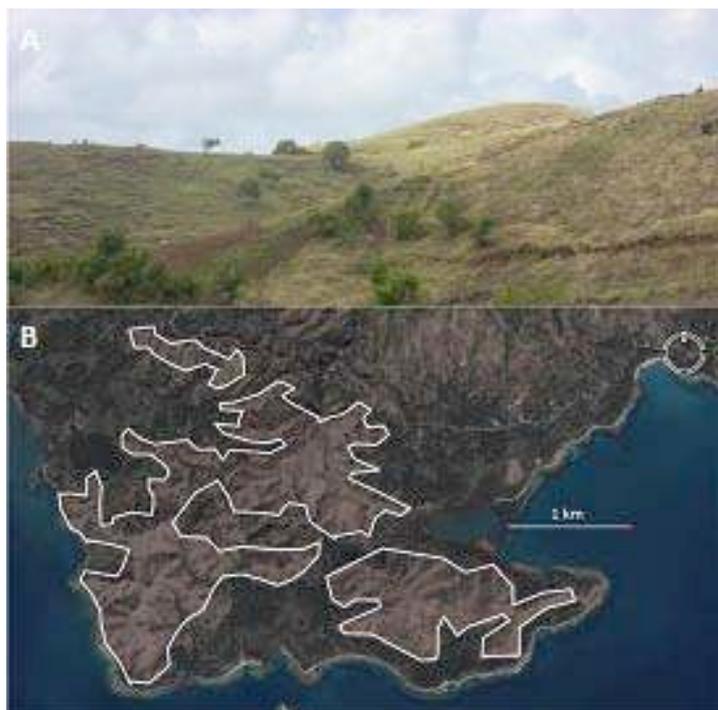


Nous avons donc réalisé sur la commune de Saint Louis un recensement des terres propices à la culture du *Jatropha curcas* sans affecter la production alimentaire ou le revenu des agriculteurs. La plus importante zone ne produisant pas de denrées comestibles est la zone de production du Vétiver (Figure 4E). Bien que le Vétiver soit en régression, il n'est pas souhaitable d'initier un projet dans cette zone avant de démontrer que le *Jatropha curcas* peut procurer des revenus supérieurs à ceux du Vétiver. Les méthodes de Culture du Vétiver dans le Sud d'Haïti sont très destructrices de l'environnement et sont facteur d'aggravation de l'érosion du fait de l'arrachage de l'ensemble des parcelles pour procéder à la vente des racines dont est extraite une huile essentielle très prisée de l'industrie du parfum. Il est évident que après démonstration d'un revenu comparable voir supérieur de la culture *Jatropha curcas* ces zones pourraient être dédiées à cette nouvelle culture. Les deux zones en 4F peuvent être recommandées pour la culture du *Jatropha curcas* et leur mise en culture n'affectera pas négativement la disponibilité en aliments ou les revenus des agriculteurs.

L'enquête de terrain couplée à l'analyse d'image satellite (Elie et Pressoir 2009) indique que la zone indiquée sur les photos (Figure 5A et 5B) est propice à l'établissement d'un projet de mise en culture du *Jatropha curcas*. Les agriculteurs de cette zone sont demandeurs pour l'établissement d'un tel projet. Ces terres sont à l'abandon depuis souvent plus de 20 ans et on y pratique en ce moment l'élevage libre de très faible intensité. Ce sont des terres très fortement déboisées et aux sols fortement dégradés (Figure 5A).

Figure 5 – Zones recommandées pour l'établissement d'un projet de mise en culture du *Jatropha curcas* (Elie et Pressoir, 20009)

5A : Photo prise dans la zone en question ; 5B : Photo satellite délimitant (blanc) une zone de 350 hectares ; les terres dans cette zone ne sont pas cultivées et ce souvent depuis plusieurs générations



La mise en place de telles stratégies et l'analyse des situations locales peut permettre l'établissement de projets de mise en culture du *Jatropha curcas* et de mise en place d'une petite industrie de transformation des fruits en évitant d'affecter négativement la production alimentaire ou le revenu des agriculteurs de la zone étudiée.

III. VARIÉTÉS DE *JATROPHA CURCAS* COMESTIBLE

Le *Jatropha* comestible est consommé par de nombreuses populations indigènes du Mexique et du Guatemala (observations personnelles). Sur place nous avons observé que non seulement il était collecté par l'homme pour la préparation d'aliments (amandes grillées ou pour la préparation de sauces) mais était également consommé par des rongeurs et des oiseaux.

La teneur en protéines du tourteau de *Jatropha curcas* est de l'ordre de 60% avec une composition satisfaisante en acides aminés pour l'alimentation animale (Makkar et al, 1998, Martinez-Herrera et al, 2006). Le tourteau du *Jatropha curcas* présente donc un fort potentiel pour l'alimentation animale. Les variétés comestibles ont une faible teneur en Ester de Phorbols (Makkar et al, 1998, Martinez-Herrera et al, 2006). Pour être incorporé à l'alimentation animale, les amandes (ou le tourteau) doivent être cuites ou grillées et éventuellement de la phytase doit être ajoutée la préparation obtenue (Makkar et al 1998). Une comparaison de la teneur en acide aminés entre le *Jatropha* et le soja révèle une composition similaire pour tous les acides aminés essentiels à l'exception d'une plus faible teneur en lysine et d'une teneur plus élevées en méthionine et cystéine pour le *Jatropha* (Vasconceles et al, 1997).

Le tourteau, riche en protéines, des graines de *Jatropha curcas* comestibles permettrait de nourrir des élevages de poissons et de poulets (l'un des principaux

problèmes de l'élevage avicole en Haïti est le coût prohibitif de la nourriture importée).

Lors d'une intervention à la 1^{ère} conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen* (*Jatropha curcas* en Créole), le secrétaire d'état à la production animale, le Dr. Michel Chancy, a souligné l'état de dépendance de l'élevage vis-à-vis soit de l'importation de viande ou d'œufs, ou sinon de soja et autres aliments importés. Cette situation affecte particulièrement l'élevage des monogastriques (cochons, volailles et tilapias). La culture du *Jatropha curcas* comestible pourrait permettre de développer l'élevage des animaux monogastriques par la création d'une filière nationale de production d'aliments pour ces animaux d'élevage. Il est aussi important de noter que les rendements en protéines par hectare du *Jatropha curcas* ne sont pas très éloignés de ceux des meilleures variétés de soja. La culture du soja en Haïti exigerait les meilleures terres arables ; le *Jatropha curcas* est une culture pérenne, un arbuste, qui permet le reboisement et peut être cultivée sur des sols fortement dégradés.

L'utilisation de variété de *Jatropha curcas* multi-usage (comestible) augmenterait les débouchés possibles de la filière. Le *Jatropha curcas* nous permettra de détourner les fonds utilisés à l'achat de carburant vers nos agriculteurs et grâce aux variétés non toxiques, son tourteau riche en protéines permettra de réaliser des aliments équilibrés pour nos élevages et ainsi contribuer simultanément à l'amélioration de la sécurité alimentaire et énergétique du pays.

IV. RENTABILITÉ D'UNE FILIÈRE BASÉE SUR LE *JATROPHA CURCAS*

Une étude commanditée par la Banque Interaméricaine de Développement à analysé dans le contexte Haïtien la rentabilité d'une filière autour du *Jatropha curcas* (BID et USAID/DEED, Etude de faisabilité de la filière Biodiesel, 2009). Les conclusions de cette étude semblent indiquer que l'exploitation du *Jatropha* toxique comme non toxique peut être rentable (avec un avantage aux variétés comestibles si un marché pour le tourteau et l'alimentation animale peut être mis en place).

La Figure 6 indique le nombre d'emploi créés par la culture du *Jatropha curcas* sur 65,000 ha ; cette superficie permettrait de créer plus de 22,000 emplois agricoles à temps complet et entre 2600 et 3250 emplois dans les centres d'extraction de l'huile. En tout, pour satisfaire la consommation actuelle de diesel de 100 millions de gallons par an, la filière *Jatropha* pourrait créer plus de 150,000 emplois directs et générer plusieurs centaines de millions de dollars de revenus dans le pays. Ce modèle économique repose sur la valorisation de l'huile et de la fabrication de briquettes de charbon avec les résidus (*Jatropha* toxique ou non toxique). On voit que les revenus dans ce scénario sont de plus de 500 USD par ha pour l'exploitant agricole et de plus de 1000 USD par ha si l'exploitant est propriétaire de l'unité de pressage (CPJ dans la Figure 6). L'utilisation de variétés comestibles se traduit par des revenus encore plus importants. Il est important de noter que la valorisation de l'huile seule ne suffit pas forcément à assurer la rentabilité de la filière ; la valorisation des coproduits (tourteau et/ou briquettes de charbon) est essentielle à cette rentabilité.

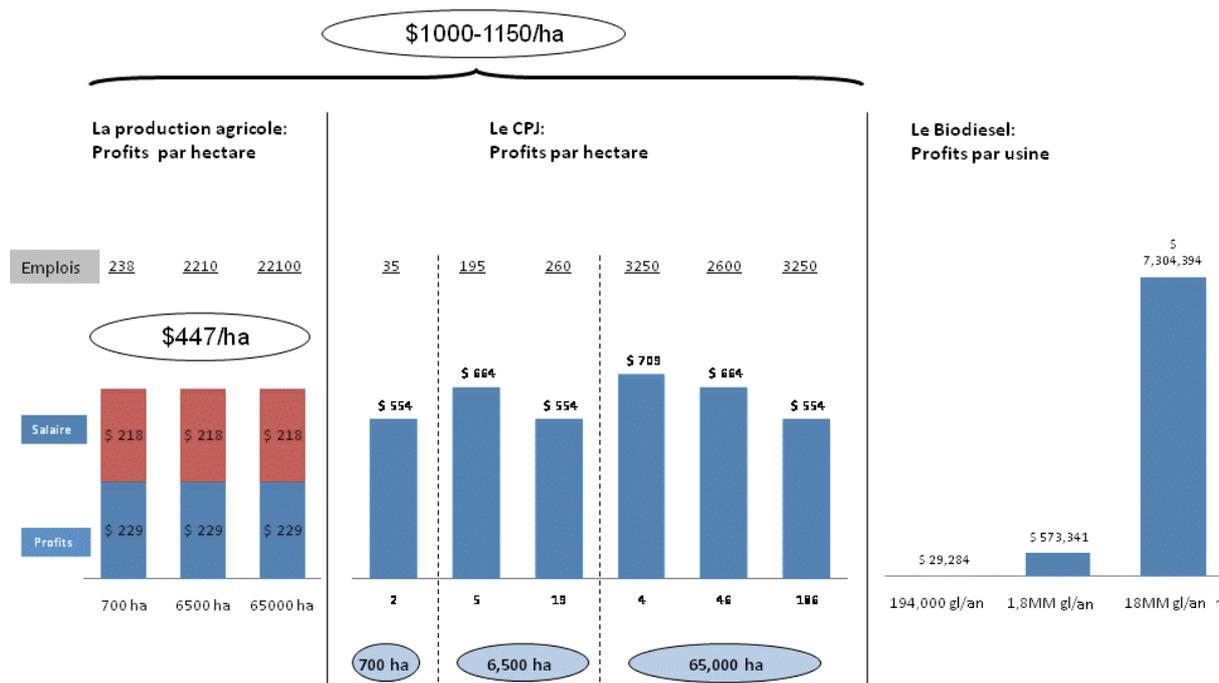


Figure 6 – profits et nombre d’emploi crée pour 700 ha, 6,500 ha ou 65,000 ha. Source : Etude de faisabilité de la filière Biodiesel, BID et USAID/DEED

Si cette filière peut être profitable pour nos agriculteurs, elle représente également une formidable opportunité de créer une véritable agro-industrie génératrice d’activités dans nos provinces. Pour presser l’huile de *Jatropha*, la transformer en biodiesel, il faudra mettre en place une petite industrie qui aujourd’hui manque cruellement aux régions reculées du pays. Le considérable avantage d’une culture non destinée à l’exportation, c’est que nous créons non seulement des emplois agricoles, mais également les emplois nécessaires à la transformation de ces produits. L’autre avantage lié aux biocarburants, c’est que nous avons un marché captif de plusieurs centaines de millions de dollars, un marché qui n’est pas près de s’épuiser. L’industrie des biocarburants ne serait donc tributaire d’aucun choix stratégique réalisé dans et par un quelconque autre pays. L’ensemble de la filière économique (chaîne de valeur) trouverait sa place au cœur même de nos provinces et y générerait des revenus (avec de l’argent qui autrement part dans des pays exportateurs de pétrole). Si nous substituions la production nationale à nos importations de carburant, cette filière pourrait créer plusieurs centaines de milliers d’emplois et devenir le premier employeur du pays.

V. *JATROPHA CURCAS* ET ÉCONOMIE VILLAGEOISE

L’étude commanditée par la Banque Interaméricaine de Développement suggère la rentabilité de la filière à la fois pour le *Jatropha curcas* toxique comme pour le non toxique. Ceci est dans le cadre d’une filière intégrée à l’économie nationale ou axée vers l’export. Mais une alternative économique est celle axée sur l’économie villageoise (section communale ou même localité). Un exemple concret est le projet réalisé par le GAFE sur la section communale de Belle Fontaine dans la commune de Kenscoff (Hurtaud et Tilus, 2009) ; l’huile de *Jatropha curcas* peut fournir de l’huile pour le fonctionnement de lampes et de réchauds dans un premier temps.

L'équipement nécessaire (petite presse hydraulique, lampe à huile, réchaud à huile) est relativement simple de fabrication et peut être réalisé par des artisans locaux. Le GAFE a récemment fait réaliser par des ferronniers/soudeurs locaux des presses, lampes et réchauds. Les lampes et réchauds ont prouvés être tout aussi efficace que la version fonctionnant au kérosène. Dans un deuxième temps, on peut aussi mettre en place des générateurs basés sur des moteurs de type Lister à révolution lente permettant d'électrifier une zone rurale dans le cadre d'un projet de développement local (Echols et Pressoir, 2009). Le même type de moteur à huile peut faire fonctionner des pompes pour l'irrigation, des moulins ou autre machinerie pour la valorisation et transformation des produits de la région. Il y a un précédent au Mali et au Niger où ce type d'approche villageoise et de développement local a permis une amélioration significative du niveau de vie des populations concernées (Tilus, 2009).

Un autre aspect possible du développement des zones rurales est la possibilité d'établir les centres de production d'huile de *Jatropha* et autres coproduits de la filière dans les zones rurales. Deux avantages à cette approche sont la création d'emplois et de valeur ajoutée dans les zones rurale et l'autre, sous réserve d'inclure les acteurs locaux dans l'actionnariat et le fonctionnement de ces centres est l'augmentation des revenus des plus démunis. Un possible exemple de modèle de fonctionnement ayant fait ses preuves en Haïti existe à travers l'expérience des laiteries Lèt Agogo où les producteurs font partie de l'actionnariat de l'entreprise. L'étude de la BID montre que l'établissement de centres coopératifs peut doubler le revenu que les producteurs peuvent tirer de l'exploitation du *Jatropha curcas* (voir Figure 3). En effet, l'étude montre que le revenu peut doubler si l'exploitant est aussi copropriétaire du centre de transformation des fruits. Les centres de traitement des fruits du *Jatropha curcas* pourraient donc être une composante du développement des zones rurales en créant des emplois et de la richesse dans ces régions.

Les deux approches présentées ici peuvent aussi être combinées. En effet, l'huile produite par les centres de transformation des fruits du *Jatropha curcas* peut alimenter des moteurs/générateurs à huile qui produiraient de l'électricité à un coût bien moindre de celle produite à partir de diesel et ainsi permettre l'électrification de nos provinces. Environ 75% de l'électricité en Haïti est d'ores et déjà produite par des moteurs diesel ou au mazout créant une forte demande potentielle pour l'huile-combustible de *Jatropha curcas*. Cette huile pourra aussi être vendue localement pour faire fonctionner les lampes, réchauds, pompes et moulins précédemment mentionnés. Quant aux provinces où le diesel se vend souvent plus cher qu'à Port-au-Prince, la production locale de carburant (notamment de biodiesel) permettrait de diminuer sensiblement le coût du transport et permettrait ainsi de diminuer le coût d'acheminement des denrées agricoles.

DISCUSSION

Nous pouvons développer une agriculture qui produira à la fois de l'énergie et des aliments puisque l'espace à utiliser pour les cultures alimentaires traditionnelles et le *Jatropha curcas* n'est potentiellement pas le même. Le *Jatropha curcas* nous permettra de détourner les fonds utilisés à l'achat de carburant vers nos agriculteurs et grâce aux variétés non toxiques, son tourteau riche en protéines permettra de réaliser des aliments équilibrés pour nos élevages.

Le *Jatropha curcas* permettrait de valoriser des terres aujourd'hui mises à nu par la déforestation et qui ne sont pas utilisées pour l'agriculture vivrière. Le *Jatropha* est appelé à devenir une culture multi-usage (alimentation animale et énergie) qui pourra contribuer à la réhabilitation de l'environnement (reboisement et conservation des sols) et à l'extension de l'espace agricole (utilisation et valorisation des terres marginales). L'huile de *Jatropha curcas* présente la qualité requise pour la production de biodiesel (esters méthyliques ou éthyliques) et peut également être utilisée pure et non transformée dans des moteurs diesels modifiés ou encore dans des moteurs de type Lister (moteurs à révolution lente <1200tr/mn). Par ailleurs, le tourteau, riche en protéines, des graines de *Jatropha curcas* comestible permettrait de nourrir des élevages de poissons et de poulets (l'un des principaux problèmes de l'élevage avicole en Haïti est le coût prohibitif de la nourriture importée). Le *Jatropha* s'inscrit donc pleinement dans le cadre des efforts de relance de la production agricole nationale car il permettrait de produire localement et donc de remplacer les importations de produits pour lesquels il existe une forte demande en Haïti:

- 1) Des briquettes de charbon à partir de la paroi du fruit et téguments de la graine
- 2) Du tourteau pour l'alimentation animale
- 3) Du biocombustible pour les centrales électriques, les lampes, réchauds et moteurs
- 4) Du biodiesel pour les réchauds, les lampes et les véhicules automobile

La culture du *Jatropha* peut être une source de revenus pour les agriculteurs et un outil pour le reboisement du pays.

Enfin, la misère en Haïti est aussi une question de pouvoir d'achat. Augmenter le pouvoir d'achat de nos cultivateurs, c'est leur permettre de mieux nourrir leur famille, de payer l'école des enfants, de se vêtir et de consommer des biens de services et de production.

La culture du *Jatropha curcas* ne contribuerait donc aucunement à l'insécurité alimentaire. Au contraire ! La culture du *Jatropha curcas* nous permettrait de produire des biocarburants et de l'alimentation pour l'élevage ainsi que lutter contre l'érosion, le tout sur des terres non utilisées ou sous-utilisées à l'heure actuelle. On estime aujourd'hui que près de 60 à 70% du territoire n'est pas cultivé en Haïti. Or avec de bonnes variétés de *Jatropha curcas*, il ne faudrait pas plus de 10% du territoire pour produire tout le diesel que nous consommons aujourd'hui !

RÉFÉRENCES

BID et USAID/DEED, 2009 Etude de faisabilité de la filière Biodiesel

CNSA, 2005. Profils des Modes de Vie en Haïti. <http://www.cnsahaiti.org/national.pdf>

Echols S et Pressoir G, 2009. Génération d'électricité à partir d'huile de Gwo Medsiyen. 1^{ère} Conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen*

Elie Y et Pressoir G, 2009. Pwojè Gwo Medsiyen St Lwi (CHIBAS). 1^{ère} Conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen*

- Hurtaud A et Tilus D**, 2009. Projet Jatropha sur la commune de Kenscoff (GAPE). 1^{ère} Conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen*
- Pressoir G**, 2009. Ki kote pou nou plante Gwo Medsiyen? (CHIBAS). 1^{ère} Conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen*
- Makkar HPS, Aderibigbe AO et Becker K** 1998, Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors, *Food Chem.* 62 (1998) 207–215.
- Mathieu G**, 2009. Insécurité Alimentaire en Haiti - État des Lieux et propositions de solutions (CNSA). 1^{ère} Conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen*
- Martinez-Herrera J, Siddhuraju P, Francis G, Davile Ortiz G et Becker K** 2006, Chemical composition, toxic/antimetabolite constituents, and effect of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico, *Food Chem.* 96 (2006) 80–89.
- Michel J.Ch.** 2009. Le développement de filières de cultures pérennes et semi-pérennes & la Gestion Durable des Terres (GEF/MDE/PNUD). 1^{ère} Conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen*
- Tilus D**, 2009. Dynamique de développement local au Niger autour de la valorisation du *Jatropha* (GAPE). 1^{ère} Conférence des acteurs et parties prenantes de la filière *Gwo Medsiyen*
- Vasconcelos IM, Siebra EA, Maia AAB, Moreira RA, Neto AF, Carnpelo GJA et Oliveira. JTA** 1997. Composition. toxic and antinutritional factors of newly developed cultivars of Brazilian soybean (*Glycine mar*). *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 75: 419-426.

MAMPU, sur les plateaux Batéké, en R.D. Congo, le projet qui réconcilie Agroforesterie et production de bois-énergie.

8000 ha de jachères enrichies à *Acacia auriculiformis* produisent plus de 8000 T de charbon/an pour la ville de Kinshasa.

Franck BISIAUX (1), Régis PELTIER (2) et Jean-Claude MULIELE (1)

1 : Projet Agroforestier Mampu. Fondation Hanns Seidel, Munich, Allemagne (siège local : 57 Avenue des Sénégalais, Gombé, Kinshasa, R.D.Congo) (mampu.fhs@gmail.com)

2 : CIRAD-ES, TAC-36/D, Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France (regis.peltier@cirad.fr).



Image Google-earth situant le projet Mampu (flèche rouge) par rapport à Kinshasa (flèche bleue)

Avertissement : la présente communication au colloque GCES d'Haïti 2011 est largement inspirée de l'article suivant de la revue Bois et Forêts des Tropiques et est publiée avec son autorisation :

BISIAUX F., PELTIER R., MULIELE J-P., 2009. Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux Batéké, Mampu, en République démocratique du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 2009, 301 (3) : 21-31

Toutes les photos sont de R.Peltier

Résumé : Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo, a une population estimée à 8 millions d'habitants qui consomment entre 3 et 6 millions de tonnes (MT) d'équivalent bois-énergie par an (ce qui représenterait 0,6 à 1,2 MT de charbon de bois/an, si tout le bois était carbonisé). Or cette ville est principalement entourée de savanes et d'îlots forestiers dégradés.

Pour faire face à la pénurie de bois et de charbon, le projet Mampu a été conçu comme la phase pilote d'un projet de reboisement de 100 000 hectares (ha) sur les sols sableux du plateau Batéké. Malgré les guerres civiles, 8 000ha de plantations d'*Acacia auriculiformis* ont été réalisées, principalement entre 1987 et 1993.

A partir des années 1994, la plantation de Mampu a été divisée en lots de 25 ha qui ont été attribués à 320 familles d'agriculteurs. Ceux-ci doivent gérer leur plantation suivant un modèle agroforestier inspiré du modèle traditionnel de culture sur brûlis.

Au niveau du massif, le calcul de la production totale de charbon varie, suivant les sources, de 8 000 à 12 000 tonnes annuelles (T/an), à la quelle il faut ajouter 10 000 T/an de manioc, 1 200 T/an de maïs et 6 T/an de miel. Pour le seul charbon, ceci correspond à un revenu brut annuel de 2,6 millions de dollars pour le pays, dont au moins un quart revient aux propriétaires agrisylviculteurs. Actuellement quatre ans de production de charbon couvrent presque les investissements initiaux faits par l'Union Européenne (8,5 millions d'Ecus).

Le projet peut donc être considéré comme un succès et ce modèle mérite d'être étendu sur les savanes des plateaux Batéké, en prenant en compte les droits fonciers traditionnels et en poursuivant la diversification et la transformation locale des produits. Ceci contribuera à couvrir une part plus importante des besoins urbains en énergie renouvelable, tout en créant des emplois ruraux.

Cependant, il ne s'agit pas d'une panacée car d'autres modèles de systèmes agroforestiers méritent d'être testés ou développés dans d'autres conditions écologiques et socio-économiques du pays, par exemple en gérant le recru naturel d'espèces locales à usages multiples, comme c'est le cas dans le système traditionnel de jachères enrichies (Nkunku) du Bas-Congo.

Mots clés : Congo Démocratique, Reboisement, Agroforesterie, Charbon de bois, *Acacia auriculiformis*

Mampu on the Bateke plateau, DR Congo, the project which reconciles Agroforestry and fuelwood production.

With people leaving rural areas and fleeing insecurity, Kinshasa, the capital of the Democratic Republic of the Congo, now has some 8 million inhabitants. The city is mainly surrounded by savanna and patches of degraded forest. Estimated fuelwood consumption is in the range of 3 to 6 million tonnes of fuelwood equivalent per year (representing 0.6 to 1.2 MT of charcoal per year if all the wood were charcoaled). The Mampu project was designed as the pilot phase of a reforestation project covering 100 000 hectares of sandy soil on the Bateke plateau and aiming to remedy wood and charcoal scarcities. Despite the conflicts, about 8000 hectares of *Acacia auriculiformis* were planted, mainly from 1987 to 1993. From about 1998, the Mampu plantation was divided into 25 hectare plots for 320 farming families. Cultivation mainly follows the agroforestry pattern based on improved fallows, which draws on traditional slash-and-burn farming. Total charcoal production from the plantation varies from 8 000 to 12 000 tonnes per year, in addition to 10 000 T/year of cassava, 1 200 T/year of maize and 6 T/year of honey. Gross annual revenue for the country from charcoal alone amounts to 2.6 million US dollars, with owners of the agroforestry plots earning at least a quarter. The success of the project is an incentive to apply the model to the savanna lands on the Bateke plateau, taking traditional land rights into consideration and continuing activities to diversify and process production locally. This will help to cover a larger share of urban needs for renewable energy while also creating rural employment. However, other agroforestry systems deserve to be tested or developed for different ecological and social or economic conditions across the country, such as management of the natural regrowth of local multiple-use species as applied with the traditional system of fallow enrichment (Nkunku) in the Lower Congo.

Keywords: *Acacia auriculiformis*, reforestation, charcoal, agroforestry, Democratic Republic of the Congo.

Le contexte, Kinshasa et le plateau Batéké

La République Démocratique du Congo est le troisième plus vaste pays d'Afrique et le plus peuplé d'Afrique centrale. Le nord du pays est un des plus grands massifs de forêt équatoriale au monde, l'est du pays borde le grand rift est-africain, domaine des montagnes, des collines, des grands lacs et des volcans. Le sud et le centre, en grande partie couverts par des savanes arborées, forment un plateau s'élevant vers le sud. La forêt du Mayombe, au sud-ouest, et la forêt claire de type Miombo, au sud-est, forment des massifs forestiers typiques, parmi les plus soumis à la pression anthropique (Bisiaux *et al*, 2009).

Comparativement à sa taille, le Congo-Kinshasa est peu peuplé, la population se concentre sur les plateaux, dans la savane près des fleuves et des lacs. Le nord et le centre du pays, domaine de la forêt, sont pratiquement vides. Mais l'exode rural, aggravé par l'insécurité et les guerres civiles, a gonflé les villes et en particulier Kinshasa (population estimée à 8 millions d'habitants). Cette ville a des besoins énormes en énergie. Si on retient l'hypothèse, couramment admise dans les villes d'Afrique de l'Ouest à forte pénurie (comme Niamey, par exemple), que chaque habitant consomme, pour son énergie domestique (cuisson des aliments et marginalement chauffage) 1 kg d'équivalent bois/ jour (Bertrand, 1991), Kinshasa consommerait $8\,000\,000 \times 365 \times 0,001 = 2\,920\,000$ T d'équivalent bois/an, ou l'équivalent d'environ 600 000 T de charbon/an. D'après Gazull, 2009, cette consommation serait plus du double dans des capitales telles que Bamako (2,5 kg d'équivalent bois /hab./jour en 2004) et Tananarive (2,8 kg d'équivalent bois /hab./jour en 2009), l'augmentation récente étant due au passage du bois au charbon de bois.

Or, dans un rayon de 150 km autour de Kinshasa, il n'y a que très peu de massifs forestiers susceptibles de fournir ce bois-énergie. La majorité de cette zone est occupée par le Plateau Batéké. Son relief (700 m d'altitude moyenne) est faiblement ondulé à l'exception des vallées assez larges de la Vue, la Mwana et Mbali supérieure (550 à 630 m d'altitude) et des vallées plus encaissées de la Lufimi, la Mbali inférieure et du Kwango (200 à 350 m d'altitude) (Ladmirant, 1964). Les flancs de ces vallées et de leurs affluents portaient autrefois des forêts denses (Duvigneaud, 1949), aujourd'hui plus ou moins dégradées par l'agriculture itinérante (beaucoup d'auteurs qualifient ces forêts de « galeries », bien qu'elles s'étendent bien au-delà du lit majeur des cours d'eau, comme c'est le cas en zone soudanienne). Le climat est tropical chaud avec une saison sèche de 4 mois (de juin à septembre). Les températures annuelles moyennes varient autour de 25°C. Les sols sont surtout sablonneux, acides, chimiquement pauvres et possèdent une très faible capacité de rétention hydrique (Koy Kasango, 2005). La kaolinite est le matériau le plus important de la fraction argileuse. Le Ph-H₂O est en général inférieur à 5,5 et varie avec la teneur en matière organique.

La savane est la formation naturelle dominante avec quelques galeries forestières (Robyns, 1948):

- Savanes herbeuses à *Loudetia*, caractérisée par *Loudetia arundinacea* et *Ctenium newtonii* ;
- Savanes arbustives dégradées à *Digitaria*, caractérisée par *Digitaria uniglumis*, *Hyparrhenia diplandra* et *Hymenocardia acida* ;
- Savanes arbustives, caractérisées par *Hymenocardia acida* et parfois parsemée d'arbres notamment *Erythrina abyssinica* et *Cussonia angolensis* (photo 1) ;
- Galeries forestières, du type périguinéen, se trouvant sur les pentes raides et les vallées des rivières Mbali, Mwana, Kwango et Lufumi (photo 2).



Photo 1 :
Savanes arbustives de plateau à
Hymenocardia acida

Photo 2 :
Galeries forestières
périguinéenne de bord de
vallée



Administrativement parlant, la zone du Plateau Batéké est située dans la Province de Kinshasa. Historiquement, cette zone était peu densément peuplée par l'ethnie Téké : environ trois habitants au km². L'autorité traditionnelle est exercée par les chefs coutumiers dont le rôle, en droit moderne, n'est pas clairement précisé en matières judiciaire et foncière. L'ordre public, l'hygiène, la santé, l'éducation, les communications sont du ressort des autorités territoriales.

Les activités économiques sur le Plateau sont essentiellement orientées vers l'agriculture itinérante. L'infrastructure routière y est peu développée.

Le projet Mampu : un reboisement industriel qui a survécu à la guerre civile

En 1984, devant la pénurie de bois-énergie à Kinshasa, le projet Mampu fut conçu comme la phase pilote d'un projet de boisement à grande échelle (100.000 ha) qui devait poursuivre un objectif annuel de production de 126.000 tonnes de charbon/an, à partir de l'an 2000 (Ducenne, 2009). Cet objectif de production devait correspondre à 30-40% de la demande en charbon de bois totale estimée de la capitale (environ 400 000 T/an, à l'époque). La phase pilote (8.000 ha) a été mise en œuvre par la Société Hollandaise Agro-Industries (HVA) sous le contrôle de la Société Zaïre Trading Engineering (ZTE). Le financement de cette phase pilote s'appuya sur les ressources du Fonds Européen de Développement (FED) à hauteur d'environ 8.500.000 d'Ecus.

Ce projet est situé sur le Plateau Batéké (4°20 S, 16°18 E), à une altitude de 670-720 m. Il se trouve à 150 km à l'est de Kinshasa (dont 26 km de piste sableuse depuis Mbankana).

L'emplacement a été choisi, en raison de la présence, à proximité immédiate du centre de recherche de Kinzono, initié en 1976 sur financements nationaux zaïrois et avec l'aide de la coopération belge (M. Gerkens, com. Pers.). Ce centre qui avait testé plus de 80 espèces locales et exotiques, avait montré l'excellente croissance de l'espèce *Acacia auriculiformis*. D'autre part, les conflits fonciers avec les autorités traditionnelles Téké y semblaient modérés.

Entre 1987 et 1993, la société HVA a boisé 7.262 ha de savane dégradée (photo 3), principalement à l'aide d'*Acacia auriculiformis* (plus de 95% de la surface plantée) et d'eucalyptus dans une mesure très marginale. Pour cela, une pépinière de 6 ha ayant une capacité de production annuelle de 4 millions de plants forestiers fut aménagée (surdimensionnée en vue d'extension souhaitée du projet).



Photo 3 : Le reboisement de Mampu et son extension sur la savane, en 2009

Suite aux événements et aux pillages de 1991, la société HVA abandonna les travaux en mars 1992. Soucieux de l'avenir du projet, le Gouvernement congolais confia à la Fondation Hanns Seidel (FHS) la mission de maintenir les infrastructures du projet jusqu'en décembre 1993. De janvier 1994 à mai 1995 la FHS et CADIM (Centre d'Appui au Développement Intégré de Mbankana) se virent confier le mandat d'assurer la protection de la concession. Au terme de cette période, un protocole d'accord a été signé entre le Gouvernement Congolais, la FHS et l'Union Européenne, cette dernière accordant un crédit de maintenance des plantations à la FHS (Ducenne, 2009).

Depuis 2003 et la reprise de la coopération de l'UE en RDC, deux nouveaux projets européens (Contribution à la relance de la production agricole par la promotion de l'agroforesterie et sa diffusion en milieu villageois sur le plateau Batéké) ont appuyé le développement de Mampu, avec l'appui de la Fondation Hanns Seidel.

A partir de 1994, une évolution délibérée vers l'agroforesterie

Un modèle de jachère améliorée, inspiré du système traditionnel de culture sur brûlis

A partir des années 1994, la plantation de Mampu fut divisée en lots de 25 ha qui ont été attribués à des agriculteurs. Ceux-ci devaient gérer leur plantation, avec

l'encadrement technique de la FHS, suivant un modèle agroforestier inspiré du modèle traditionnel de culture sur brûlis.

En effet, si le terme « système agroforestier » a un sens très large d'association entre arbre, culture et élevage, dans l'espace et/ou dans le temps (Combe, 1979 ; Nair, 1985 ; Baumer 1986 ; Lundgren, 1987), on peut parler de « système agroforestier séquentiel » quand il s'agit d'alternance dans le temps, sur une même parcelle, entre culture et forêt. C'est le cas pour l'amélioration de l'agriculture itinérante par la « jachère améliorée (improved fallow) » (Torquebiau, 1990). La parcelle n'est pas abandonnée après les quelques saisons de culture, mais plantée de ligneux utiles. On ensemence (ou plante ou facilite la régénération naturelle) la jachère d'arbres fixateurs d'azote, qui rétabliront un sol de bonne qualité plus vite que les espèces spontanées.

C'est bien le cas à Mampu où, en théorie, chaque année, l'« agrisylviculteur » (nom que nous donnons à l'agriculteur pratiquant l'agroforesterie, pour le distinguer de l'agroforestier, nom plus utilisé pour les scientifiques) exploite une parcelle d'environ deux hectares, transforme le bois en charbon, brûle les résidus en début de pluie et met en place sa culture mélangée de maïs et de manioc. La surface de 2 ha est un maximum théorique, compte-tenu des pare-feux et des pistes, mais dans la réalité la FSH a limité à 1,5 ha, pour tenir compte des zones vides et pour éviter un pillage du capital bois. Il faut noter que *A. auriculiformis* ne rejette pas de souche, après la coupe. Le passage superficiel du feu lève la dormance des graines d'acacia qui germent en grand nombre (photo 4).



Photo 4 :
Souche d'*A. auriculiformis*
après le passage du feu et
jeune semis d'acacia

Lors des sarclages de ses cultures, l'agrisylviculteur les préserve sur les lignes qui joignent les souches mortes. Au besoin, il peut regarnir les zones où les semis sont trop rares. 4 mois après le feu, à la récolte du maïs, les acacias ont environ 1m de haut ; 18 mois après le feu, à la récolte du manioc, les acacias ont environ 3 m de hauteur (photo 5).



Photo 5 : Semis d'acacia, âgé de 12 à 18 mois, avant la récolte du manioc

Ce gaulis obtenu par Régénération Naturelle Assistée (RNA) peut se développer sans autre intervention humaine, en dehors d'une éclaircie (dans les zones trop denses où l'on n'obtiendrait que des gaulettes nombreuses mais trop fines pour être carbonisées), de la protection contre le feu et de l'élimination de quelques espèces arborées envahissantes. Il peut s'agir, par exemple, d'*Anthocleista schweinfurthii* (Mupuku-Puku en Kikongo), que les agriculteurs conservent jusqu'à un certain diamètre pour les abattre et cueillir des champignons sur le bois en cours de putréfaction. Douze ans plus tard, il peut revenir à nouveau exploiter sa parcelle et recommencer une nouvelle rotation.

Il faut noter qu'un inventaire réalisé en 2008 dans des parcelles plantées de 19 ans, a fourni des volumes variant entre 190 à 340 m³/ha, soit un accroissement annuel moyen de 10 à 18 m³/ha/an et une moyenne de 12 m³/ha/an. En principe, une parcelle de 12 ans pourrait contenir 144 m³/ha, soit environ 120 T de bois sec à l'air, qui donnerait 24 T de charbon/ha (avec un rendement de carbonisation de 20 %) ou 400 sacs de 60 kg de charbon/ha.

Des charbonniers de plus en plus performants

La carbonisation est de mieux en mieux maîtrisée par les agrisylviculteurs de Mampu. Une meule de 30 stères (4 x 3 x 2,5 m), soit environ 24 T de bois sec à l'air, donne en moyenne 80 à 90 sacs de 60 kg, soit 5,1 T, ce qui correspond à un rendement légèrement supérieur à 20% du poids sec à l'air (photo 6).



Photo 6 : une meule de 30 stères au moment de l'empilage puis de la mise à feu

Ce rendement est satisfaisant par rapport aux rendements maximaux que l'on trouve dans la littérature pour la carbonisation en meule (23 % d'après Briane et al, 1985) et les accidents (incendie de la meule, brûlures des charbonniers) se font heureusement de plus en plus rares.

Des agriculteurs très productifs, eut égard à la pauvreté initiale du milieu

Alors que l'agriculture traditionnelle sur brûlis de type Téké ne s'intéresse qu'aux îlots de forêt dense et considère que les sols de savane sont trop pauvres pour être valorisés, c'est au contraire sur ces sols qu'ont été installées les plantations, puis le système agroforestier.

Grace à l'amélioration des paramètres de fertilité du sol sous plantations d'acacia, comme le taux de Matière Organique (qui augmente de 1,9 % après 17 ans), le taux d'azote, la CEC et la somme des bases qui augmentent et le rapport C/N qui diminue avec l'âge de la plantation, la culture traditionnelle associée de maïs (récolte à 3-4 mois) et de manioc (récolte à 18 mois) devient possible après exploitation. Ceci est permis par la présence d'une légumineuse arborée (l'acacia) fixatrice d'azote, dans la jachère. Dans les conditions matérielles des agrisylviculteurs de Mampu (absence d'engrais, de chaulage, d'herbicides et de labour ou broyage mécanique), ceci est grandement facilité par un brûlis des rémanents aériens (feuilles, brindilles), en début des pluies et juste avant le semis du maïs (même si les scientifiques restent dubitatifs sur la nécessité du feu : Louppe et al, 1998). Ce brûlis permet de faciliter l'accès, d'éliminer les adventices et les parasites, de remonter le Ph et de libérer une partie des éléments minéraux stockés dans cette biomasse. En conditions de sol humide, l'essentiel de la MO du sol (humus et racines) n'est pas dégradée par le feu. D'autre part, avec l'appui du projet, les agrisylviculteurs utilisent en très grande majorité des semences de maïs et des boutures de manioc améliorées, et en particulier des clones de manioc résistant à la mosaïque. De ce fait, un agrisylviculteur (as) qui ouvre chaque année 1,5 ha, peut récolter 1,5 ha de maïs (semé en année n : prod = 1,5 T/ha, soit 2,25 T/as) et 1,5 ha de manioc (bouturé en année n-1 : prod = 20 T/ha, soit 30 T/as) (photo 7).



Photo 7 :
Tubercules de manioc dans un champ en cours de récolte, en limite de plantation pas encore exploitée

La production totale du périmètre, pour 320 exploitations de 25 ha, peut ainsi être estimée à environ 10 000 T/an de manioc et 750 T/an de maïs (chiffre majoré à 1 200 T/an, grâce à des cultures sur pare-feux ou autres).

Depuis 2004, un souci de diversification et de valorisation des produits du système agroforestier

Depuis 2004, la nouvelle équipe du projet encourage la diversification et la transformation sur place des produits du périmètre. C'est ainsi que l'apiculture a été



introduite pour valoriser le fort potentiel mellifère des acacias. La production de miel du massif est collectée par le Regroupement des Agriculteurs de Mampu (RAMA) qui le vend à l'ONG Centre de Développement Intégré de Mbankana (CADIM). La production a rapidement augmenté de 3 500 kg en 2005 à 8 000 kg en 2007, pour se stabiliser autour de 6 000 kg en 2008, vendu à 2,1 dollar américain par kg (USD/kg, monnaie utilisée localement), soit un revenu brut de 12 600 USD/an. Alors que le manioc était vendu en tubercules (très coûteux à transporter en raison de leur forte teneur en eau), le séchage sous-forme de cossettes (3-5 cm de diamètre) ou de micro-cossettes (2-3 mm de diamètre) a été encouragé (Photo 8).

Photo 8 : Séchage du manioc après pelage, rouissage et broyage

Les micro-cossettes de manioc, sont fabriquées sur place, après épluchage manuel, râpage mécanique, rouissage et séchage des tubercules. Le rendement (micro-cossettes sèches / tubercules frais) est estimé à 34 %. Les micro-cossettes sont vendues 1 USD/kg, en sac de 25 kg (Photo 9) par le Groupement des Producteurs de Manioc et CADIM mais ne représentent encore qu'une minorité de la production de manioc.

Photo 9 : vente du manioc en sacs de cossettes de 25 kg



Des agrisylviculteurs aux revenus exceptionnels pour la RDC

En théorie, les meilleurs agrisylviculteurs de Mampu ont des revenus beaucoup plus élevés que la moyenne des agriculteurs de la zone. La coupe de 1,5 ha/an permet la fabrication de 600 sacs de charbon de 60 kg, dont 4,5 USD reviennent au propriétaire, soit de l'ordre de 2 700 USD/an (Sur un sac vendu 18 USD à Kinshasa (13 500 FCg), on peut estimer grossièrement que 9 USD vont à la main d'œuvre et 4,5 USD aux transports et taxes). A ces revenus, il faut ajouter les productions agricoles de maïs (3,75 T/as/an) et manioc (30 T/as/an). Pour certains propriétaires, il faut également compter le miel et des suppléments de revenus, s'ils transforment leur manioc en micro-cossettes ou s'ils réalisent les coupes, la carbonisation et la vente du charbon par eux-mêmes, au moins en partie. Certains ménages peuvent donc, du moins en théorie, gagner près de 4 000 USD/an, soit plus de 300 USD/mois, ce qui, en RDC, est le salaire d'un cadre.

Une production de charbon qui rentabilise rapidement les investissements faits par le projet

Au niveau du massif de 8000 ha, le calcul de la production totale de charbon varie, suivant les sources, de 8 000 à 12 000 T/an, soit 1 T de charbon/ha/an ou 5 T de bois/ha/an (6 à 7 m³/ha/an), si on considère un rendement de carbonisation de 20 %. Ceci correspond bien à 320 exploitations x 600 sacs x 60 kg/sac = 11 520 000 kg. Mais cet accroissement semble faible, si on le rapporte aux 8000 ha du massif, par rapport aux chiffres donnés dans la littérature sur l'accroissement de l'*A. auriculiformis*, dans ce type de conditions écologiques, souvent supérieur à 15 m³/ha/an (Bernhard-Reversat *et al.*, 1993). Ceci est dû au fait que la FHS, par prudence, ne laisse pas exploiter toute la production annuelle. Quoiqu'il en soit, cette production correspond au moins à 130 000 sacs de charbon et à un revenu brut de 2,6 millions de dollars par an (MUSD/an) pour le pays, dont au moins un quart revient aux propriétaires agrisylviculteurs. Par un calcul économique très simple ($2,6 \times 4 = 10,4$ MUSD = 8,3 €), on peut donc dire que seulement 4 ans de production de charbon couvre presque les investissements initiaux faits par l'UE (8,5 millions d'Ecus).

Un écosystème forestier qui se reconstitue

Bien qu'il n'y ait pas eu de mesure scientifique de l'évolution de la biodiversité, la perception des agrisylviculteurs et de la plupart des visiteurs est qu'un écosystème forestier se reconstitue assez rapidement sur le périmètre du projet, en lieu et place de l'ancien écosystème de savane. De nombreuses espèces végétales et animales qui n'étaient présentes que dans les îlots forestiers se retrouvent aujourd'hui dans la majorité des parcelles. Ceci est le cas, par exemple pour les ignames sauvages (photo 10) et pour de nombreuses autres lianes et espèces arborées pionnières comme *Anthocleista schweinfurthii*. Ceci incite les habitants à y développer des pratiques de cueillette (champignons, chenilles, tubercules, etc.) et de chasse (rongeurs, reptiles, céphalophes, etc.), autrefois limitées aux zones forestières.



Photo 10 : Une plantation d'acacias sur savane, âgée de 20 ans, colonisée par la végétation forestière spontanée (ignames sauvages, etc.)

Discussion : des incertitudes concernant les paramètres de durabilité du système qu'il faut lever

Paramètres de production et de fertilité

Il existe encore beaucoup d'incertitudes sur la surface exploitée chaque année, sur la croissance des plantations, avant et après régénération naturelle assistée, sur les rendements réels à la carbonisation, sur l'évolution à long terme de la fertilité sur les différents types de sol (en raison des exportations de bois et de produits agricoles, non compensés par des apports d'engrais).

Il faut noter que les cadres du projet et certains agrisylviculteurs estiment qu'il est très important de brûler les résidus par un feu courant de début de saison des pluies (qui carbonise plus qu'il ne consume) ainsi que de fabriquer le charbon sur les parcelles elles-mêmes. Ceci permet de laisser au sol les cendres et les résidus de charbons (fines) qui se dégradent très lentement et augmentent la fertilité du sol (en fait la Capacité d'Echange des Sols). Ils l'observent, en particulier, par la taille des cultures et des arbres sur les anciennes meules. Cet aspect mériterait d'être chiffré et il faudrait conseiller aux cultivateurs d'épandre ces résidus sur l'ensemble des parcelles, mais ceci pose le problème du transport, encore mal résolu, y compris pour les produits agricoles (charrettes, pousse). Il faudrait également suivre la composition biologique du sol (micro-faune, macro-faune, micro-flore), la comparer à celle de la savane et évaluer l'impact du brûlis des résidus sur celle-ci.

Il est remarquable de constater que ces observations des agrisylviculteurs et des techniciens de terrain, qui allaient contre l'avis des scientifiques des années 1990, majoritairement opposé au brûlis des rémanents, rencontrent celles d'une nouvelle génération de chercheurs. En effet, il était connu que le bénéfice des résidus organique est de courte durée sous les tropiques (Jenkinson et Ayanaba, 1977). C'est pourquoi, de plus en plus de scientifiques préconisent la gestion de charbon organique (référéncé sous le nom de « Bio-Char ») dans les sols tropicaux, afin d'en maintenir la fertilité (Glaser *et al*, 2002). Ceci a été confirmé par l'étude de sols du Bassin Amazonien, autrefois occupé par des campements d'amérindiens (*Terra Preta de Indios*) qui ont conservé leur fertilité depuis 5 à 25 siècles, grâce à leur teneur en charbon de bois (Lehmann *et al*, 2003). C'est ainsi que Lehmann et Rondon (2006) préconisent la réhabilitation du système de Culture-sur-Brûlis ou Abattis-Brûlis (Slash-and-Burn) sous le nom rénové et dé-péjoré de Culture-sur-Charbon (Slash-and-Char).

Organisation sociale du site de Mampu

Spécialisée sur les aspects sociaux et politiques, la FHS s'intéresse par ailleurs à l'évolution des organisations paysannes et à leur capacité à gérer cette nouvelle cité de Mampu (qui compte maintenant près de 5000 habitants) et ses infrastructures rurales (pistes, pare-feux), artisanales (ateliers à micro-cossettes de manioc et à affinage du miel) et urbaines (marché, école, dispensaire, etc.). En effet, le statut de Mampu reste intermédiaire, pour l'instant, entre celui de chantier (administré par un projet) et celui de ville (administrée par l'Etat). La FSH étudie également l'évolution du foncier rural (transmission, vente, location, concentration), des filières de charbon et de produits agricoles (organisation, prise de contrôle, taxation formelle et informelle. Il reste enfin les difficiles problèmes de l'insécurité grandissante (illustrée par l'assassinat début 2009 d'une commerçante de charbon) et de la diversification des produits autoconsommés ou vendus (fruits, plants ou boutures d'arbres fruitiers, champignons, chenilles, bois non-carbonisé, etc.).

Incertitudes sur les prochains cycles de plantation/production (rotations) d'acacias obtenus par semis naturel assisté

La visite des parcelles en deuxième ou troisième rotation montre des situations bien contrastées. Dans certaines parcelles, les arbres sont denses, avec une croissance correcte, alors que dans d'autres, les arbres sont clairsemés, très irréguliers et très branchus. Il faudrait déterminer si la cause est principalement due au savoir faire de l'agrisylviculteur ou à des problèmes de feu, d'épuisement du sol ou d'érosion génétique des peuplements (cas des plantations d'eucalyptus hybrides de Pointe Noire en République du Congo).

Une base génétique des acacias trop étroite

On constate que la plupart des acacias sont extrêmement branchus, y compris dans les plantations de première génération, en dehors d'une petite parcelle, où les arbres sont très droits et monocaule (photo 8). Même si on peut considérer que, pour la production de charbon, la forme n'a pas d'importance et qu'il convient d'optimiser la

production de biomasse plutôt que celle de troncs rectilignes, nous pensons qu'il faudrait refaire de nouvelles introductions de matériel végétal, de façon à créer des peuplements semenciers à base génétique large, dont les descendants pourraient concilier forte production de biomasse et monocaulie (plus grande facilité de débit et de mise en tas, possibilité d'utilisation en perche et en petit sciage, en cas d'évolution du marché et de besoins locaux).

Un projet de développement qui confirme les résultats de la recherche et qui ouvre des perspectives régionales

Il est instructif de constater que les résultats actuels du projet Mampu, confirment à grande échelle (près de 8 000 ha) les résultats obtenus de 1990 à 1994 à Oumé, en Côte d'Ivoire (RCI) par un projet de recherche européen à très petite échelle (de l'ordre d'un ha), les hypothèses des chercheurs de l'époque (Peltier et al, 1993, 1994 et 1995) et celles émises par la suite (Harmand et al, 1997 et 2004). On peut s'étonner que ces résultats se soient très peu vulgarisés en milieu rural en RCI (en dehors de quelques centaines d'hectares près d'Oumé et de Korhogo) et qu'ils n'aient pas été apparemment connus par les agronomes qui ont redécouvert le système de Mampu en RDC.

D'autre part, il existe actuellement un regain d'intérêt certain pour les plantations multi-usages en Afrique Centrale (Marien et Mallet, 2004). Il est très probable que plusieurs projets de plantations vont émerger dans les années à venir, que ce soit au niveau régional (Congo-Brazzaville) ou thématique (bois énergie, restauration terres dégradées en zone périurbaine, MDP et REDD,...). Ces plantations de Mampu sont très largement ignorées au plan international alors qu'elles constituent la seule vraie référence en RDC (très peu de communication sur le projet).

Enfin, il faut noter qu'il existe une initiative récente de plantation d'acacias (400 ha en début 2009) à proximité de Mampu (Ibi village) pour la fixation de Carbone, par la société privée NOVACEL. Cette entreprise utilise les techniques du projet Mampu. La surface des plantations paysannes réalisées par les paysans eux-mêmes, en périphérie du projet Mampu (dont le total est mal connu), serait de l'ordre de 6 ha/famille et l'objectif de plantation serait de 1000 ha/an. Le total actuel des plantations, dans cette zone approcherait donc 10 000 ha (100 km²).

Mampu couvre une part importante des besoins de Kinshasa qui restent mal connus

Il est vrai que si l'on rapporte la production de Mampu (10 000 T de charbon/an), à la consommation théorique minimum de Kinshasa (600 000 T/an), le taux de 1,6 % peut sembler dérisoire. En fait, il est probable que, du fait de l'extrême pénurie d'énergie et de la faiblesse des revenus de la majorité de la population, la consommation de Kinshasa en charbon de bois soit surestimée. D'ailleurs, une étude FORAF sur le transport de charbon, en cours de réalisation, montre que pour novembre et décembre 2008, Kinshasa aurait importé seulement 55 000 sacs de charbon, dont 50 000 sur l'axe Est (Aéroport-Mampu), l'axe sud-ouest Kinshasa – Mbanza-Ngungu étant très mal documenté à ce jour. Rapporté à l'année par une règle de trois (calcul comportant un risque d'erreur élevé, en raison des variations annuelles et de la non prise en compte du transport de nuit), ceci donnerait environ

20 000 T de charbon / an. Il semble que beaucoup de familles trouvent des voies d'économie forcée, en ne préparant qu'un repas par jour et en bannissant les aliments à longue cuisson (haricots, etc.). D'autres sources d'énergies existent aussi, comme l'électricité pour les plus aisés et leurs commensaux (l'utilisation de l'électricité dans les quartiers pauvres est mal connue car les branchements sont informels mais un survol de nuit de la ville montre à l'évidence que même les zones d'habitat spontané sont éclairées et il est bien connu que les possibilités de l'énorme barrage d'Inga, sur le Congo sont très sous-utilisées). La sciure et les dosses de bois de scierie, les fagots de perchettes de bois provenant de la périphérie de la ville (photo 11).



Photo 11 :

Vente de fagots de perchettes de bois récoltées dans des jachères dégradées en périphérie de la ville de Kinshasa

et divers déchets sont aussi récupérés. Plusieurs boulangers se fournissent directement en rondins de bois par leur propre circuit (photo 12)

Photo 12 :

Récolte de rondins par des ouvriers urbains d'un boulanger, sur une parcelle forestière dont la coupe a été vendue par un chef coutumier, sans bénéfice pour les villageois



Il est donc probable que Mampu assure plutôt de l'ordre de 5 à 10 % de la couverture des besoins en charbon de bois de la ville, ce qui est remarquable, si on considère que ses 100 km² ne couvrent que 0,3 % du demi-cercle de 150 km de rayon, qui constitue le bassin d'approvisionnement de Kinshasa.

Le projet MAKALA, un appui pour l'avenir du projet Mampu

Lancé en février 2009, à l'occasion du séminaire de Kinshasa, le **Projet MAKALA**, qui se propose de « **Gérer durablement la ressource bois énergie en RDC** » est financé par l'Union Européenne, pour une durée de quatre ans (Marien, 2009). Avec l'appui de nombreux partenaires congolais (dont le SNR pour les aspects reboisement) et internationaux (dont la Fondation Hanns Seidel pour le reboisement et le Cirad pour la coordination), il se propose, entre autre, de tirer un bilan plus précis de l'expérience de Mampu (en partie sous forme de thèses de Master ou de Doctorat) et d'en promouvoir l'extension auprès de diverses sources de financement. Celle-ci pourra se faire, soit sous sa forme actuelle de grands blocs sur des plateaux « vides », soit sous des formes beaucoup plus diffuses, dans l'espace rural approprié et régulièrement cultivé.

Pour ce qui concerne un éventuel projet de recherche qui viendrait en appui aux réalisations de Mampu (Harmand, 2008), on peut proposer les questions suivantes :

-La carbonisation et l'exportation du charbon de bois, de même que le brûlis et la remise en culture provoquent une perte de C et d'éléments minéraux et donc une baisse de capital fertilité acquis au cours de la phase de jachère. Cette perte est-elle préjudiciable au développement de la rotation suivante et donc au stockage de C à l'échelle du massif, et à l'efficacité de la nouvelle jachère dans la restauration de la fertilité du sol ?

-Quelle est l'influence de l'âge de la plantation en première rotation sur la production de biomasse et la restauration de fertilité ?

-A partir d'une chronoséquence de peuplements de 3 à 15-20 ans, quelle est la dynamique d'accumulation de matière sèche (biomasse) et d'éléments minéraux dans la jachère, la dynamique de fixation d'azote, la dynamique de production et de décomposition des litières aériennes, l'accumulation de C, N et éléments minéraux dans le sol ?

-Quels indicateurs biologiques tels que la faune du sol et les microorganismes pourraient être mesurés dans ces systèmes en relation avec l'âge de la jachère ?

-Dans le fonctionnement du peuplement, quelle est l'importance de l'amas de racines qui se développe peu à peu dans la litière, à partir de l'âge de 5 ans ?

-Quelle est l'influence de l'exploitation de la jachère sur la fertilité du milieu et le stockage de C?

En plus d'évaluer la quantité de nutriments exportée par la carbonisation, on pourrait estimer ce qui peut être restitué par les cendres de la carbonisation ainsi que la dynamique des stocks de C, N et des éléments minéraux du sol (0-1m de profondeur) et de la litière entre deux périodes clé : avant exploitation de la jachère et après abandon de la culture suivante. Un suivi dans le temps dans trois ou quatre parcelles pourrait être fait dans l'intervalle de 18 mois à 2 ans. Une comparaison des stocks avec celui des savanes environnantes serait également utile. Enfin, un indicateur de fertilité serait la croissance de l'acacia en deuxième rotation en comparaison avec la première rotation.

D'autres modèles agroforestiers méritent d'être testés ou développés en RDC

Cependant, d'autres modèles de systèmes agroforestiers méritent d'être testés ou développés dans d'autres conditions écologiques et socio-économiques du pays, par exemple en gérant le recru naturel d'espèces locales à usages multiples.

Il apparaît une nécessité impérieuse de ne pas considérer l'agroforesterie, telle que pratiquée à Mampu, comme le modèle unique d'agroforesterie pour tout le pays, dans n'importe quelle condition.

Le modèle Mampu est une réussite adaptée aux plateaux Batéké, mais presque partout actuellement en RDC, on se réfère hélas à ce seul modèle. On tente de l'appliquer dans des régions où le couvert forestier naturel existe et où une simple mise en défens suffirait pour retrouver une couverture végétale naturelle abondante.

Par exemple, les Nkunku sont un type de jachère améliorée ou assistée, résultat de l'intervention séculaire des populations Bakongo habitant les Districts des Cataractes et de la Lukaya. Celles-ci aboutissent, dans certains cas de protection continue sur une longue période, à la création de véritables agroforêts. Celles-ci contiennent une grande diversité d'espèces locales (et parfois exotiques) qui y sont protégées et parfois réintroduites pour leurs multiples usages (production de fruits, feuilles d'emballage, feuilles consommées par les animaux domestiques ou les chenilles comestibles (Latham, 2003), support de champignons, fleurs butinées par les abeilles, pharmacopée, et, en éclaircie ou exploitation sanitaire, bois de feu et d'œuvre). Le projet Makala étudie ces agroforêts traditionnelles et détermine les conditions techniques et socio-économiques de leur enrichissement et diffusion. D'autre part, sur le plateau Batéké, le projet européen Makala, a commencé à tester les méthodes de RNA, dans les derniers lambeaux de forêts galerie, avec la collaboration des populations qui les mettent en culture.

L'agriculteur défriche tout d'abord le sous bois, ensuite il évalue rapidement le potentiel des ligneux présents sur sa parcelle. Il s'interroge ainsi sur les espèces qu'il souhaite conserver, soit pour leur rôle fertilisant, soit pour les diverses productions qu'elles peuvent lui offrir au cours des prochaines années (chenilles, fruits, bois de chauffage, bois d'œuvre, pharmacopée, etc.). Il évalue l'abondance de chaque espèce sur sa parcelle et s'interroge sur la gêne qu'elles peuvent occasionner aux cultures, sur les difficultés éventuelles de sauvegarde au moment de l'abattage et de

la mise à feu. Fort de cette réflexion, il sélectionne les arbres qu'il souhaite conserver, en essayant de les répartir au mieux dans l'espace, en conservant au moins un individu de chaque espèce utile et en limitant le recouvrement des houppiers pour éviter l'ombrage excessif aux futures cultures (la densité varie suivant l'opacité des houppiers et correspond, en moyenne à 50 arbres/ha, assurant un recouvrement d'environ 20%).

Il abat ensuite les autres arbres, en limitant les dégâts aux arbres conservés. Les troncs sont débités en vue de la production de charbon ou sciés. La base des arbres à conserver est dégagée de branchages sur un rayon de 2 m. Les rémanents ne sont brûlés qu'après 2 ou 3 pluies (50 mm). Les dégâts d'abattage et le passage du feu réduisent la densité arborée à environ 20 arbres/ha. Le charbon est alors fabriqué et la parcelle semée en céréales (maïs, etc.). Trois mois plus tard, les céréales sont récoltées et le manioc bouturé. La parcelle est alors sarclée. Parmi les jeunes repousses d'arbres (semis, rejets ou drageons), l'agriculteur sélectionne celles qu'il veut garder (en particulier dans les trouées) et les désigne par un piquet. Elles seront conservées et éclaircies par l'équipe de sarclage. Après la récolte du manioc, la végétation conservée et spontanée pourra se développer pendant le cycle de jachère (6-12 ans) (photo 13). L'agriculteur utilisera cet espace pour ses cueillettes, ainsi que pour le pâturage, la chasse, l'apiculture, etc.

On espère ainsi mettre en place un système agroforestier, inspirée des pratiques anciennes, qui conservera mieux les sols et la biodiversité, tout en augmentant les ressources des agriculteurs.



Photo 13 : Jeune rejet d'Albizzia sélectionné par la méthode RNA, neuf mois après sa protection

BIBLIOGRAPHIE

- BAUMER, M. and WOOD, P. 1986. Agroforestry research and development: agroforestry practices for the solution of food, fodder and fuel shortages. In: L. W. Carlson and K. R. Shea, compilers. *Increasing productivity of multipurpose lands*. IUFRO research planning workshop for Africa Sahelian and North Sudanian zones, Nairobi, January 1986:1 UFRO, 22-88.
- BERNHARD-REVERSAT F., DIANGANA D., TSATSA M., 1993. Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'Acacia mangium et A. auriculiformis au Congo. In : Bois et Forêts des Tropiques, n°238 (4), pp 35- 44.
- BERTRAND, A., 1991. Etude des filières d'approvisionnement des villes en bois-énergie, Doc. Tech. n°11, Projet Energie II, Volet Offre, Niamey, Niger, 57 p.
- BISIAUX F., PELTIER R., MULIELE J-P., 2009. Plantations industrielles et agroforesterie au service des populations des plateaux Batéké, Mampu, en République démocratique du Congo. Bois et Forêts des Tropiques, 2009, 301 (3) : 21-31
- BRIANE D. et DOAT J., 1985. Guide Technique de la Carbonisation. AFME, ABF, CTFT. EDISUD, Aix-en-Provence, France. 180 p.
- COMBE, J. and BUDOWSKI, G., 1979. Classification of agro-forestry techniques. In: G. De las Salas, ed. Agro-forestry systems in Latin America. Proceedings of a workshop, CATIE, March 1979. Turrialba, Costa-Rica:CATIE, 17-47
- DUCENNE Q., 2009. Evaluation des actions agroforestières développées à Mampu, RDC. Cardno Agrisystems Ltd. Volume I : Synthèse finale 32 p. Volume II : Rapport final 83 p.
- DUVIGNEAUD, R., 1949. Les savanes du Bas-Congo. Essai de phytosociologie topographique, la jeunia, Rev. Bot., Mém.10.
- GLASER B., LEHMANN J., and ZECH W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review, Biol. Fertil. Soils, 35, 219–230 (2002).
- JENKINSON D.S. and AYANABA A., 1977. Decomposition of carbon-14 labeled plant material under tropical conditions, Soil Sci. Soc. Am. J., 41, 912–915 (1977).
- GAZULL, L., 2009. Le bassin d'approvisionnement en bois-énergie de Bamako. Une approche par un modèle d'interaction spatiale. Thèse de doctorat. Université Paris 7 Denis Diderot, France. 311 p.
- HARMAND, J.-M., NJITI, C.F., PELTIER, R. 1997. Restauration de la fertilité des sols par la jachère arborée. L'agroforesterie pour un développement rural durable. Atelier international-Montpellier-France 23-29 juin 1997, pp 135-142
- HARMAND, J.-M., NJITI, C.F., BERNHARD-REVERSAT, F. and PUIG H., 2004. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon, *For. Ecol. Manage.* **188** (2004), pp. 249–265

- HARMAND, J.-M., 2008. Rapport de mission d'appui au Programme de Réhabilitation de la recherche agricole et forestière- Composante Recherche Forestière -en République Démocratique du Congo. Cirad, Montpellier, France. 10 p.
- KOY KASANGO R., 2005. Impact of planted Acacia Forest on the Chemical Fertility of Sandy soils of the Bateke Plateau (D.R. Congo). Msc. Thesis, Gent Universiteit (Université de Gand), Université Libre de Bruxelles, Belgique. 121 p + annexes.
- LADMIRANT H., 1964. Carte géologique à l'échelle au 1/200.000 ; notice explicative de la feuille Léopoldville. Serv. Géologique du Congo, Léopoldville, Congo.
- LATHAM P. 2003. Edibles caterpillar and their food plants in Bas-Congo; Mystole Publications, Canterbury, UK. 60p.
- LEHMANN J. *et al.*, 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant Soil*, 249, 343–357 (2003a).
- LEHMANN J. and RONDON M., 2006. Bio-Char Soil Management on Highly Weathered Soils in the Humid Tropics. In : *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. Ball, Fernandes, Herren, Husson, Laing, Palm, Pretty, Sanchez, Sanguinga & Thies eds. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London New-York. 530p.
- LOUPPE D., OUATTARA N. et OLIVER R., 1998. Maintien de la fertilité dans trois jachères arborées. Bilan minéral (Korhogo, nord Côte d'Ivoire). *Agric. Dévelop. Spécial Sols Trop.* **18** (1998), pp. 47–54.
- LUNDGREN, B. 1987. ICRAF's first ten years. *Agroforestry systems* 5: 197-217.
- MARIEN, J.-N., 2009. Projet Makala, gérer durablement la ressource bois énergie en RDC. Projet EuropeAid DCI-ENV/2008/151-384. Note de présentation. 7 p.
- MARIEN, J.-N., MALLET B., 2004. Nouvelles perspectives pour les plantations forestières en Afrique Centrale. In : *Bois et Forêts des Tropiques*, n°282 (4), pp 67-79.
- NAIR, P.K. R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3: 97-128.
- PELTIER, R. ; BALLE PITY., 1993. "De la culture itinérante sur brûlis au jardin agroforestier en passant par les jachères enrichies" (From Slash and burn to sustainable agroforestry system). In : *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 235 (1), pp 49-57.
- PELTIER, R., 1993. "Les jachères à composante ligneuse. Caractérisation, conditions de productivité, gestion" (Bush fallow and forest fallow : characterisation, productivity and management), in *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Atelier international, Montpellier, 2-5 décembre 1991, O.R.S.T.O.M., Bondy, France, pp. 67-88
- PELTIER, R., 1994. "Du reboisement imposé à la prise en compte des savoirs traditionnels" (From mandatory reforestation to the adoption of traditional

techniques. Improvement of degraded land in North Cameroon). In : Nature Sciences Sociétés, 1 vol 2, 1994, Dunod, Paris, France, pp. 67- 79.

PELTIER, R., BALLE PITY, GALIANA, A., GNAHOUA, G.M., LEDUC, B., MALLET, B., OLIVER, R., OUALOU, K., SCHROTH, G. 1995. Produire du bois énergie dans les jachères de zone guinéenne. Intérêts et limites à travers l'expérience d'Oumé en Basse Côte d'Ivoire. In : Actes du séminaire Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides. nov. 95. Montpellier, France. pp 219-227.

ROBYNS, W., 1948. Les Territoires phytogéographiques du Congo belge et du Rwanda Urundi. ATLAS GENERAL DU CONGO, Publ. Ministère des Colonies, Bruxelles.

TORQUEBIAU, E., 1990. Introduction to the concepts of agroforestry. Working paper N°59 ; ICRAF, Nairobi, Kenya. 121 p.

YOUNG, A. 1988. Agroforestry and its potential to contribute to land development in the tropics. *Journal of Biogeography* 15: 19-30

T h è m e 5

Spatialisation des risques des différents types d'érosion

Les parcelles d'érosion permettent d'évaluer précisément les risques érosifs relatifs à diverses cultures, techniques culturales, sols, pentes, climats, mais pas l'érosion réelle dans l'espace des bassins versants.

Pour évaluer la répartition spatiale des risques des divers types d'érosion, il faut combiner :

- l'observation des états de surface et les traces d'érosion,
- les aléas climatiques en fonction de l'orientation des vents et des versants,
- l'analyse d'images à différentes échelles depuis des points élevés, des drones ou des ballons, des avions ou des satellites,
- l'analyse des traceurs radioactifs comme de césium ou le béryllium...

L'usage de simulateurs de pluies permet de définir pour chaque zone la dynamique actuelle de l'eau de pluie, l'évolution de la stabilité de la surface du sol protégé par sa couverture végétale et les meilleurs indicateurs.

L'intégration des familles paysannes haïtiennes dans la lutte antiérosive à travers la cartographie participative.

DELERUE Florian

f.delerue@avsf.org

Résumé :

Cet article présente une expérience de lutte antiérosive intégrée dans le Sud-Est d'Haïti. Les origines biogéographiques, économiques et sociales de l'érosion sont explicitées. La cartographie participative est posée comme modèle pouvant faciliter la réussite de la Gestion Conservatoire de l'Eau et de la Fertilité des Sols dans la zone face aux échecs courants des projets de lutte antiérosive.

Les caractéristiques agroécologiques du milieu sont présentées, distinguant les zones dégradées et celles favorables à l'agriculture. Les familles paysannes utilisent déjà des pratiques de conservation des sols et de gestion de l'eau et de la biomasse, mais elles restent insuffisantes. Une maquette en 3 dimensions de la zone est construite dans la communauté. Elle permet de créer un espace de dialogue avec la population locale pour une utilisation plus rationnelle des terres. Elle présente les services de base à la population dans la zone ainsi que les ressources disponibles, l'usage actuel et l'état de fertilité / dégradation des terres. Des séances d'animation sont organisées autour de cette maquette pour dynamiser les réflexions de la population quant à son territoire. Des consensus se dégagent pour la mise en œuvre des structures antiérosives et des propositions globales pour le développement et l'aménagement de la zone sont faites. Les résultats sont prometteurs pour le traitement des ravines et pour la création de lots boisés mais l'implantation des structures antiérosives dans les parcelles agricoles reste difficile. Les pratiques de fertilisation sont encourageantes mais insuffisantes.

Finalement, les paysans deviennent acteurs de la réflexion concernant la lutte antiérosive et les techniques sont mieux comprises, choisies et maîtrisées. Le modèle présenté peut être reproduit, mais le développement d'un contexte socioéconomique plus favorable est aussi indispensable comme la diminution de la pression démographique et l'utilisation d'énergies alternatives au charbon de bois.

Mots-clés : Haïti, projet GCES, cartographie des zones, discussion avec paysans, aménagement ravines, terres dégradées, champs, fertilisation.

Abstract:

This article presents an integrated erosion control experience in the South-East of Haïti. Biogeographical, economical and social roots of erosion are explained. Participatory mapping is proposed as a model to help successful land husbandry in the area taking into account many erosion control projects failures.

Agroecological characteristics of the environment are exposed, focusing on the differences between erosion damaged areas and areas suitable for agriculture. Farmer's families already use some erosion control and water and biomass management techniques, but they are not very efficient. A 3 dimensional model of the area is built in the community. It helps to create a dialoguing space with the local population to think about a more rational way of land use. It shows population basic services access in the area as well as the available resources, current land use and land fertility / degradation level. Brain storming meetings are organized around the model to strengthen population thinking regarding his territory. General agreements are achieved about erosion control structures implementation and global propositions about area development are made. Results are promising concerning gullies treatment and creation of wooded areas but establishment of erosion control structures in agricultural allotments is still difficult. Fertilization practices are encouraging but not enough developed.

Finally, farmers become thinking actors in erosion control strategies and techniques are better understood, chosen and mastered. This outlined model can be repeated, but the development of a

more favorable socioeconomical context is also needed like demographic pressure reduction and the use of alternative energies to charcoal.

Keywords : Haiti, village territory management, maquette, gully, degraded areas & fields management with villagers dialogue

Problématique :

Les racines de l'érosion en Haïti :

La république d'Haïti (partie occidentale de l'île d'Hispaniola) est dominée par un relief montagneux occupant 75% de l'espace soit 20 000 des 27 750 km² du pays (Bennani et Dory 2003). Située entre les 18^{ème} et 20^{ème} parallèles Nord, Haïti est soumis à un climat tropical humide à deux saisons de pluies interrompues par deux périodes sèches. Cette combinaison entre topographie accidentée et pluviométrie importante crée un contexte géographique local favorable à l'érosion.

Dans cet environnement à risque, la paysannerie haïtienne a su développer des méthodes et des techniques de cultures adaptées. Les parcelles à proximité directe des habitations ou jardins '*lakou*' sont caractérisées par un système agroforestier dense où l'ensemble des strates de la végétation sont exploitées. Issus de la période coloniale, les systèmes de cultures de café et dans une moindre mesure de cacao sous couvert arboré ont longtemps permis une valorisation durable des terres de montagnes. Mais suite à la baisse des cours du café avec la libéralisation du marché à la fin des années 80 et les différentes crises économiques liées à l'instabilité du pays, les surfaces caféières ont largement diminué au profit d'une agriculture vivrière. En parallèle, la pression démographique est passée de 185 habitants / km² dans les années 80 à près de 300 habitants / km² aujourd'hui avec plus de 8 millions d'habitants (Bennani et Dory 2003).

Aussi, Haïti est détenteur du triste record du pays le plus pauvre de l'hémisphère américain (rang IDH = 153^{ème} place sur 177 classés) et la population (à 60% rurale) vit en très grande majorité en dessous du seuil de pauvreté (IHSI 2003). Avec la forte pression démographique, même les terres les plus pentues sont valorisées par une agriculture vivrière de survie sans structure antiérosive et sur des surfaces très restreintes souvent inférieures à 0,5 ha. Pourtant les sols en pente ont un potentiel agronomique réduit et sont très sensibles à l'érosion.

Dans les zones rurales, les services de base à la population sont très rares (écoles publiques, centre de santé, poste de police, tribunal, voix de communication, marchés). L'accès à ces services est limité, nécessite souvent un déplacement en ville, et représente des coûts supplémentaires pour les familles paysannes. Dans ce contexte économique et social déprimé, avec la forte demande en charbon de bois à travers tout le pays pour l'usage domestique, la coupe d'arbres s'accélère et atteint des proportions extraordinaires. En effet, la vente de charbon permet aux paysans de faire face au besoin urgent de liquidité. La couverture forestière actuelle en Haïti est estimée inférieure à 2% (Michel 2005) (photo 1).

L'érosion et la crise environnementale actuelle :

La disparition de la couverture arborée entraîne une crise environnementale sans précédent. L'érosion en nappe provoque un appauvrissement important des terres mises en cultures (photo 2) et les rendements agricoles diminuent, fragilisant encore plus les familles paysannes entraînées dans un cercle vicieux infernal : baisse des rendements, baisse des revenus, coupe des arbres et vente de charbon, augmentation de l'érosion, baisse des rendements...

Le cycle de l'eau est complètement perturbé, l'infiltration est minimale, le ruissellement maximal. Le niveau des crues est anormalement élevé provoquant des dégâts matériels et des pertes humaines importantes. A l'été 2008, après 3 cyclones et une tempête tropicale 90 000 ha de productions agricoles ont été détruits (maïs, haricot, sorgho...) et 300 000 têtes de bétail sont mortes (bœufs, chèvres, cochons) (www.agriculture.gouv.ht). En période sèche, les cours d'eau et les sources s'assèchent.

Un besoin de lutte antiérosive intégrée :

Les approches technicistes étaient privilégiées dans les années 50 – 70 (Conservation de l'Eau et des Sols (CES), Défense et Restauration des Sols (DRS) (Smucker et al, 2006 ; Delerue, 2007). Depuis les années 80, les techniques proposées s'intéressent plus aux systèmes agricoles des paysans et s'attachent à améliorer parallèlement leurs conditions de vie par l'augmentation de la production et des revenus (Smolikowski, 1993) : haies vives, bandes enherbées, traitement des ravines et activités complémentaires : élevage, maraichage, greffage... Mais la dégradation des mornes continue. Les techniques proposées sont souvent pertinentes mais les populations rurales participent peu aux choix stratégiques développés. L'appropriation des techniques proposées est limitée. Il convient alors d'intégrer les communautés paysannes à une réflexion globale sur leur environnement, débouchant sur l'aménagement de parcelles avec une bonne compréhension et appropriation des techniques inspirées de la Gestion Conservatoire de l'Eau de la biomasse et de la fertilité des Sols (GCES). Même si la réussite d'opérations de lutte antiérosive dépend d'un contexte plus large (mesures foncières, accès aux services de base, aux marchés, aux financements), des outils de cartographie participative peuvent permettre cette participation et prise en charge par les populations locales du devenir de leur territoire



Photo 1 : Le déboisement des mornes haïtiens



Photo 2 : L'érosion en nappe entraîne un lessivage de matière organique, les terres blanchissent.

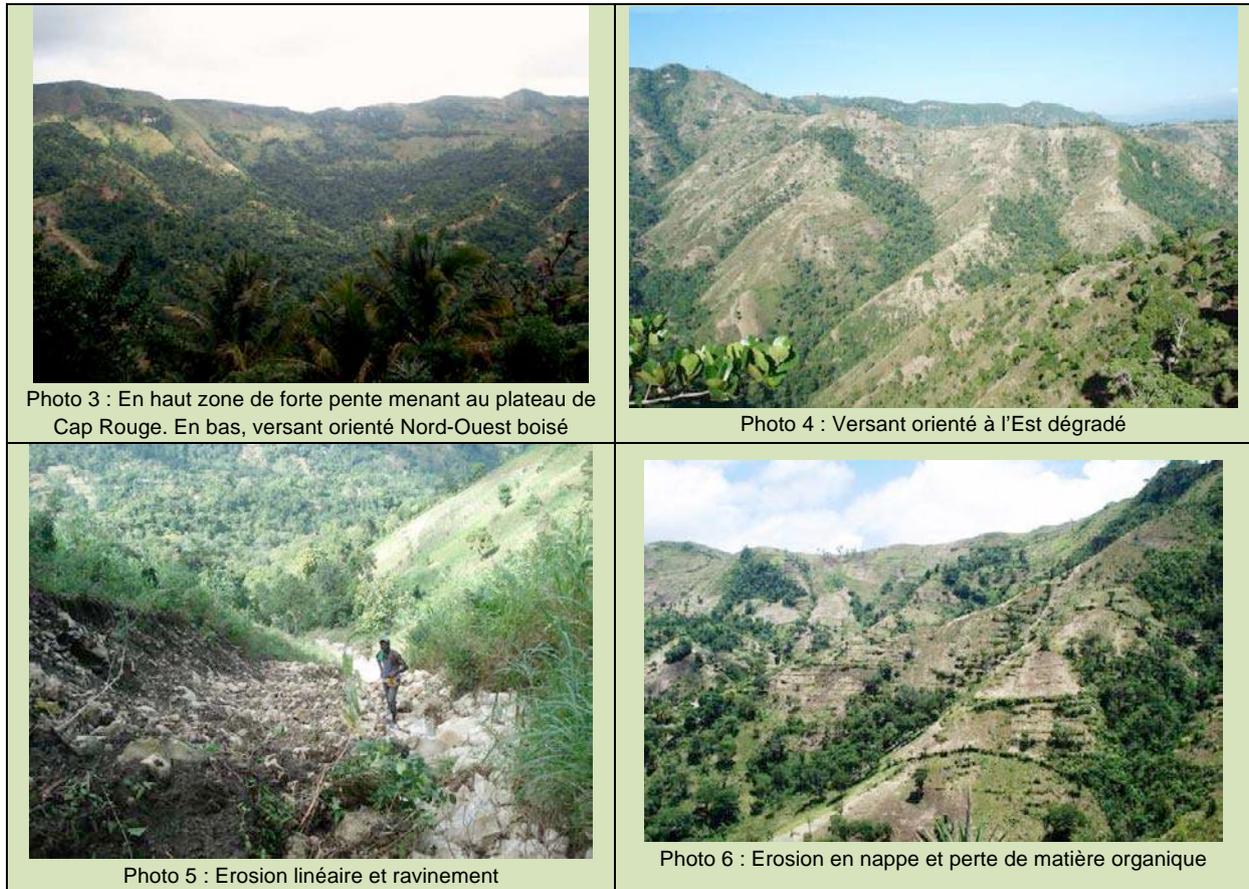
Milieu :

Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières (AVSF, ONG française), et la Coordination Régionale des Organisations du Sud-Est (CROSE, mouvement social haïtien), mettent en place depuis 2007 un projet d'aménagement du bassin versant de la rivière Fond Melon (45 km²) situé dans le département du Sud-Est qui est caractérisé par (Delerue 2009 a) :

- Une population de près de 12 000 habitants (IHSI 2003)
- Des services à la population très faibles : aucun dispensaire, une seule école primaire publique dégradée, aucun poste de police ni de tribunal, aucune voie de communication pénétrant dans la zone et un seul marché.
- De nombreuses organisations de base regroupant jeunes, femmes et paysans.
- Une topographie accidentée avec une majorité des terres présentant des pentes de 10 à 40%.
- Une pluviométrie importante (>1500 mm/an, GRET-FAMV 1991) alimentant deux saisons de culture principales. La saison cyclonique s'étend de juin à novembre.
- 5 zones agro – écologique principales :
 - **1.** Une zone pseudo plane fertile aux sols riches et profonds sur matériaux colluvionnaires (vertisols, sols bruns vertiques) : le plateau de Michineau. Des cultures exigeantes (igname, bananes, gingembre) et variées (maïs, haricots, café) sont pratiquées ainsi qu'un élevage diversifié au piquet
 - **2.** Des versants orientés au Sud et à l'Est (ensoleillés) dégradés avec des sols peu profonds et peu fertiles (rendzines) (photo 3). Sorgho, pois congo et patate douce sont majoritaires et plantés pour la deuxième saison de culture. Les caprins y sont élevés au piquet
 - **3.** Des versants orientés au Nord et à l'Ouest (moins ensoleillés) moins dégradés et avec une bonne couverture arborée avec des rendzines riches en matières organiques évoluant en sols bruns eutrophes (photo 4). Les parcelles de café sont fréquentes ainsi que les parcelles agroforestières (cultures exigeantes et arbres fruitiers et bois d'œuvre variés). Les bœufs sont majoritairement gardés dans ces zones fraîches.
 - **4.** Une zone basaltique d'altitude avec des sols bruns fersialitiques sur les pentes moyennes et quelques lithosols sur arène basaltique sur les pentes les plus fortes. Ils sont sensibles à l'érosion et certaines zones sont en voie de dégradation avancée. Des cultures exigeantes sont possibles lorsque les sols sont assez profonds. La strate arborée est éparses sauf au niveau des parcelles de café sous couvert. Les bœufs sont majoritaires dans cette zone fraîche.
 - **5.** Une zone de forte pente reliant le bassin versant à un vaste plateau adjacent (le plateau de Cap Rouge) présentant des rendzines en voie de dégradation (photo 4). La strate arborée est très peu présente et les cultures peu exigeantes y sont pratiquées dans la deuxième saison de culture. Les caprins sont majoritaires et gardés au piquet dans cette zone.

Hormis le plateau de Michineau, les pratiques agricoles dans des zones de fortes pentes aboutissent à des processus érosifs (photos 5 et 6) largement répandus

surtout dans les zones 2, 4 et 5. Le ravinement y est particulièrement développé (Photo 5).



En conséquence, les paysans ont adopté quelques pratiques de gestion de l'eau, de la biomasse et de la conservation des sols qui sont indiqués dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1 : les pratiques de gestion de l'eau de la biomasse et de la conservation des sols dans la zone			
Technique	Description	Utilité	Limites
Rampes de paille	Quelques piquets soutiennent des feuilles de palmiers ou autres 'pailles' formant des rampes dans les parcelles.	Barrière antiérosive	Structure non pérenne, barrière perméable, non respect des courbes de niveau
Bandes enherbées	Plantation en bandes d'herbes d'herbe de guinée (<i>Panicum maximum</i>) voire de cannes à sucre	Barrière antiérosive, infiltration de l'eau et délimitation des parcelles	Non respect des courbes de niveau. Structures interrompues pouvant favoriser l'érosion linéaire
Murs en pierre sèche	Empilement de roches formant des murs dans les parcelles agricoles	Barrière antiérosive, Créer plus d'espace cultivable	Non respect des courbes de niveau, pas de fondations solides
Le brulis	Brulis de la matière végétale résiduelle	Préparation et fertilisation rapide des sols	Favorise l'érosion dans les zones en pente. Non enfouissement de la matière organique
Le buttage	Enfouissement des herbes sarclées sous des buttes où sont plantées patates douces et ignames.	Concentration de la matière organique et améliore la structure du sol	
La gestion des déchets animaux	Production de matière organique là où le bétail est au piquet. Transport des déchets vers des parcelles d'intérêt particulier	Enrichissement en matière organique	Transferts de fertilité vers les zones riches et dégradation des zones pauvres. Pas de réelles pratiques de production de fumier

Méthodologie :

Intégration de la population et cartographie participative :

L'originalité de l'expérience présentée ici réside dans l'intégration des familles paysannes à 4 niveaux d'analyse et d'intervention qui sont tous spatialisés, c'est-à-dire concrètement localisés et raisonnés dans une vision globale du bassin versant:

- Le diagnostic du milieu : identification de ses potentiels et ses limites, des phénomènes et risques érosifs
- La réflexion sur les alternatives à proposer pour une gestion plus rationnelle des terres et de l'espace
- La prise de décision quant aux actions à mener
- L'exécution du travail identifié

Tous les paysans, quel que soit leur niveau d'éducation, ont une connaissance partielle mais approfondie et spatialisée du milieu dans lequel ils évoluent chaque jour (Flavelle 2002). Il s'agit donc de créer un outil adapté permettant de faire la somme de ces connaissances individuelles et de créer un espace d'échange adéquat en particulier avec les acteurs du développement rural (techniciens et agronomes du projet). La réflexion est alors portée à l'échelle du bassin versant en entier. Cette approche est directement issue de la discipline de la cartographie participative.

Le taux d'illettrisme est très important dans la population rurale haïtienne. De plus les cadres formés en Haïti sont peu habitués à manipuler des cartes classiques en 2 dimensions. Alors, la construction d'une maquette en 3 dimensions du bassin versant est privilégiée. La 3^{ème} dimension permet de développer une expérience sensorielle (visuelle, tactile) permettant à tous, paysans, élus, techniciens, agronomes de bien se repérer et de raisonner ensemble l'aménagement d'un même espace.

Construction de la maquette en 3 dimensions :

La construction participative de la maquette en 3 dimensions du bassin versant suit une méthode déjà décrite que nous rappelons ici brièvement (Rambaldi et Callosa-Tarr 2002 ; Gonda et Pommier 2008 ; www.iapad.org).

- La première étape consiste à construire le relief. Pour cela le travail se fait à partir d'une carte de base présentant les courbes de niveau de la zone d'intérêt, imprimée aux dimensions et à l'échelle de la maquette. Une épaisseur est redonnée à chaque courbe de niveau créant la 3^{ème} dimension, la hauteur, et faisant clairement apparaître le relief. Pour cela, chaque courbe de niveau est retracée à l'aide de papier carbone sur une couche de carton (photo 7) en commençant par le niveau le plus bas. Puis le carton est découpé précisément selon la forme de la courbe de niveau et collé sur la table où repose la maquette. Les couches de cartons, correspondant chacune à une altitude, sont collées les unes sur les autres (photo 8), du niveau le plus bas jusqu'au sommet de la zone.

Les formes en escalier liées à la méthode de construction sont atténuées en collant plusieurs épaisseurs de papier crépon et créant aussi une surface adéquate pour peindre par-dessus le relief. Cette première étape a été réalisée avec les élèves des écoles de la zone.

- La deuxième étape consiste à inviter des représentants de toutes les zones du bassin versant pour qu'ils viennent reporter des informations sur la maquette. Deux types d'informations ont été sélectionnés : les services de base pour la population : écoles, centre de santé... et l'environnement et ses ressources : usage de la terre, sources... Chaque information est traduite par des symboles ponctuels (aiguilles pour les écoles, marchés, sources...), linéaires (fil ou trait de peinture pour les limites administratives, les cours d'eau, les ravines...), ou polygonales (l'usage de la terre est peint sur l'ensemble de la surface avec un jeu de couleur prédéfini) (photos 9 et 10). Les expériences ont montré qu'un utilisateur d'un modèle en 3 dimensions vierge peut dépeindre beaucoup plus précisément sa connaissance de l'environnement spatial que sur une simple carte ou feuille blanche. La dimension verticale fournit des repères stimulant la mémoire et permet d'établir des associations spatiales. En fournissant une vue aérienne, un modèle en 3 dimensions élargit la perception des références spatiales comme le lit des rivières, le lien entre les écosystèmes, l'utilisation et l'accès aux ressources.

- Des photos de la maquette sont ensuite prises à la verticale et exploitées dans un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG). Grâce au système de coordonnées indiqué sur les bords de la maquette, les photos sont géoréférencées, puis chaque information est redessinée une à une pour produire des cartes thématiques consultables en dehors de la zone d'action.



Photo 7 : Chaque courbe de niveau est repassée au crayon



Photo 8 : Chaque couche de carton correspondant à un niveau est collée sur le niveau précédent



Photo 9 : Report des informations : on commence par les éléments les plus faciles à identifier (rivières en bleu)



Photo 10 : Report des informations : l'usage de la terre est peint en dernier sur l'ensemble de la surface

Utilisation de la maquette pour la lutte antiérosive intégrée:

L'organe de prise de décision au sein du projet est le comité de pilotage. Des représentants des organisations de base de toutes les localités de la zone, des autorités locales, du ministère de l'agriculture, de la CROSE et d'AVSF se réunissent pour décider des orientations à donner au projet. L'équipe technique fait des propositions qui sont débattues jusqu'à obtention d'un consensus au sein du comité. Les activités en relation avec l'aménagement du bassin versant et la lutte antiérosive sont directement discutées autour de la maquette en 3 dimensions (photo 11).

Les zones d'intervention et les techniques choisies sont localisées sur la maquette. Les caractéristiques du milieu et le zonage agroécologique présenté ci-dessus sont visibles et compréhensibles pour les participants à l'aide des symboles et jeu de couleurs utilisés sur la maquette. Alors les décisions sont bien l'aboutissement d'une réflexion commune avec les représentants de la population en fonction des potentiels de chaque zone et des limites et contraintes observées.

Tableau 2 : Choix des techniques et des zones à aménager en fonction des observations autour de la maquette en 3 dimensions.			
Domaine	Technique	Méthodologie	Objectif
Conservation des sols dans les parcelles agricoles	Bandes enherbées en courbe de niveau : herbes de guinée, cannes à sucres, ananas	Identification des zones sur la maquette (zone agroécologique 2, 4, 5, versants des ravines aménagées). Précision du choix des espèces en fonction du degré de dégradation / fertilité. Délimitation de la zone (GPS) et rencontre de l'ensemble des exploitants de la zone. Planification et exécution	Protection des parcelles agricoles avec des structures biologiques pérennes permettant le développement d'une production rapide pour les exploitants. Amélioration de pratiques déjà existantes : rampes de paille, bandes enherbées.
	'Bandes manger' en courbe de niveau : gros sillon de bananes / Gros billon de patates douces ou d'ignames / bandes enherbée de cannes à sucre ou d'ananas.	Identification des zones sur la maquette (zone agroécologique 3). Délimitation de la zone (GPS) et rencontre de l'ensemble des exploitants de la zone. Planification et exécution	Protection des parcelles agricoles à forte production mais soumis à un risque d'érosion avec des structures biologiques développant une production rapide et variée
	Murs secs en courbe de niveau	Identification des zones sur la maquette (zone agroécologique 2, 3,4, 5, zones avec beaucoup de roches). Délimitation de la zone (GPS) et rencontre de l'ensemble des exploitants de la zone. Planification et exécution	Protection des parcelles agricoles, augmentation de l'espace cultivable et amélioration d'une pratique déjà existante : murs sans fondation
Traitements des ravines	Seuils en pierres	Priorisation des ravines à traiter sur la maquette en 3 dimensions. Relevé topographique des ravines. Planification et exécution	Stabiliser le ravinement et recréer des espaces de cultures sur les sédiments accumulés
Réhabilitation de zones dégradées	Plantation de lots boisés d'arbres forestiers et fruitiers sur des grands espaces	Identification des larges zones sur la maquette (zone agroécologique 2, 4, 5. Délimitation et découpage parcellaire de la zone (GPS). Calcul de la productivité économique des terres. Rencontre de l'ensemble des exploitants de la zone et signature de contrat. Planification et exécution des plantations. Distribution d'une aide financière pour compenser la diminution de la production et des revenus pendant 10 ans.	Réhabiliter des versants entiers par la création de lots boisés avec des espèces à bonne valeur ajoutée : bois d'œuvre, variétés fruitières intéressantes (contre saison, potentiel commercial). Changement d'utilisation de l'espace de l'agriculture vers une sylviculture durable et productrice de revenus.

Par la suite, les aménagements réussis sont reportés sur la maquette avec des symboles adaptés pour un suivi régulier par la communauté et une actualisation des données pour les réflexions futures (photo 12).

Les techniques antiérosives débattues au sein du comité sont résumées dans le tableau 2 ci dessous Les pratiques paysannes observées, présentées plus haut, sont valorisées et améliorées lorsqu'elles sont pertinentes. Rappelons que, dans le cadre de la GCES, la conservation des sols n'est pas une fin en soi mais est intégrée à un paquet technologique visant à améliorer leur condition de vie, notamment par l'amélioration des résultats économiques des exploitations (Roose, 1994).

Dans le cadre du processus participatif d'identification des espaces à aménager, et pour une meilleure compréhension des aménagements, de leur planification et exécution, l'ensemble des relevés GPS effectués dans ce travail est exécuté directement par des membres des organisations de base formés à cet effet.



Photo 11 : Réflexion autour de la maquette en 3 dimensions



Photo 12 : Le traitement d'une ravine (trait rouge) est indiqué avec le report des fils noirs.

La maquette, l'intensification agricole, la gestion des nutriments et de la fertilisation :

L'augmentation des rendements et des revenus pour les exploitations agricoles est essentielle à la réussite de la lutte antiérosive. Elle implique des pratiques de fertilisation inexistantes jusqu'à présent et qui sont développées à 2 niveaux :

- dans les aménagements à mettre en place identifiés sur la maquette. Les lots boisés et les 'bandes manger' sont ciblés en particulier.
- Dans des parcelles d'intensification agricole et de cultures maraichères à haute valeur ajoutée. Là aussi, l'identification des zones à bon potentiel agronomique est effectuée directement sur la maquette (zone 1, 3 et 4)

Pour les lots boisés et les cultures maraichères, la fertilisation organique est préférée. Dans 12 localités de la zone sont développées des expériences de :

- valorisation rapide des déchets animaux : mélange avec cendres et épandage.
- fabrication de compost à partir de tas de déchets de cuisine mélangés avec des cendres et des résidus végétaux.
- fabrication de compost par lombriculture à partir des déchets de cuisine.

Pour les parcelles de bananes, de maraichages et les 'bandes manger', des amendements en engrais minéraux sont aussi pratiqués (engrais complet et urée).

Résultats :

Compréhension et analyse du milieu :

Une cinquantaine de personnes maîtrisent déjà l'outil de réflexion et d'analyse qu'est la maquette en 3 dimensions. Elles sont capables de faire des propositions d'aménagements adaptés et localisés, en particulier concernant les problèmes d'érosion. Pour la mise en place du projet, des consensus se dégagent facilement au sein du comité de pilotage démontrant qu'à travers la maquette, les potentiels et limites dans l'ensemble du bassin versant apparaissent clairement à tous.

L'élevage est majoritairement pratiqué au piquet, libre dans certaines zones, pendant que l'agriculture vivrière sans pratique de conservation occupe la très grande majorité de l'espace. Des représentants des différentes organisations de base et des autorités locales ont participé à plusieurs jours de réflexions autour de la maquette pour préciser un plan de développement et d'aménagement couvrant la moitié amont du bassin versant (Delerue 2009 b). Le mode d'exploitation des terres a été repensé dans son ensemble ainsi que la création des services nécessaires à la population. Les zones propres à la sylviculture, à l'agriculture et à l'élevage ont été redéfinies pour un usage agrosylvopastoral des terres plus adapté qui aboutirait à une maîtrise globale des processus d'érosion. Ces résultats ont été traduits sous forme de carte.

Les aménagements antiérosifs :

Concernant les aménagements antiérosifs, les résultats obtenus sont les suivants :

Le traitement des ravines :

En 2008, après identification sur la maquette, 2,6 km linéaires de ravines ont été aménagés avec des seuils en pierres sèches. Après passage des 4 cyclones / tempêtes tropicales en 2008, la grande majorité des seuils (plus de 90%) sont bien restés en place. Les quelques dégâts ont depuis été réparés. Dans ces ravines, considérant que l'ensemble des seuils sont aujourd'hui pleins en sédiments, nous estimons qu'environ 640 m³ de terre ont été retenus soit près de 900 T de sédiments (en comptant une densité moyenne de 1,4 kg/dm³ = densité de la terre tassée en fin de saison agricole).

En 2009, 6,6 km linéaires de ravines supplémentaires ont été aménagés. Nous prévoyons qu'environ 1 620 m³ de terre seront retenus soit 2 270 T de sédiments.

Les espaces de sédimentation déjà disponibles derrière et entre les seuils ont été spontanément remis en culture par les agriculteurs. Une enquête sur 2 ravines montre que :

- Les zones de sédimentation sont très fertiles et cultivées principalement en bananes, mazombelle et tarot.
- Que pour 861 m linéaire de ravine traitée, 4 082 m² de surface cultivable ont été recréés.
- Que de très bons revenus nets annuels sont obtenus à partir de ces nouvelles surfaces agricoles avec 2 143 gourdes (soit 39 €) pour 100 m² ou 214 280 gourdes (ou 3 896 €) par hectare. Par comparaison, un hectare planté en bananes dans les zones de plaines irriguées peut rapporter entre 250 000 et 300 000 gourdes par an (soit entre 4 545 et 5 455 €) (Aurélien 2007).

- Une projection de ces résultats sur les 9,2 km de ravines traitées donnerait plus de 4,3 ha de surface cultivable recréée, mise en culture par 170 personnes pour un revenu total annuel net de 934 000 gourdes (16 980 €) soit en moyenne 100 € par personne.

Les ravines traitées, auparavant zones abandonnées, se transforment en oasis linéaires à forte productivité comme le montrent les photos 13 et 14 suivantes.

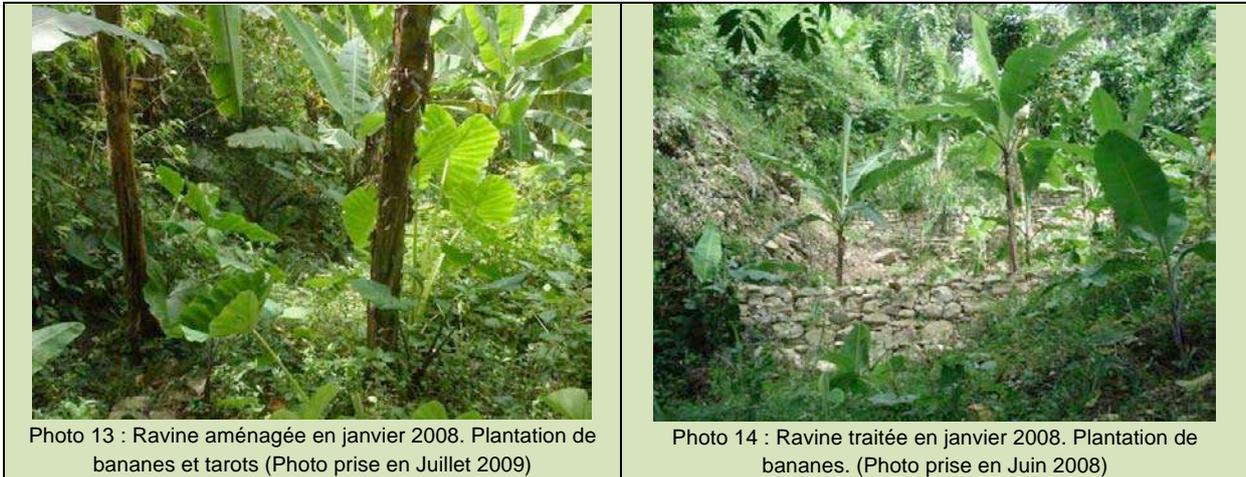


Photo 13 : Ravine aménagée en janvier 2008. Plantation de bananes et tarots (Photo prise en Juillet 2009)

Photo 14 : Ravine traitée en janvier 2008. Plantation de bananes. (Photo prise en Juin 2008)

La réhabilitation des zones dégradées par la création de lots boisés :

En 2008, une première expérience de création de lot boisé a été menée sur une surface de 3 ha. En 2009, 34 nouveaux hectares de plantations ont été effectués pour un total de 197 exploitants engagés dans cette activité. Ce sont des versants entiers qui sont identifiés autour de la maquette en 3 dimensions caractérisés par un état de dégradation important, des pentes importantes et des rendements agricoles très réduits. Les sols, bien que maigres doivent avoir une épaisseur minimale afin de faciliter la prise des plantules.

En parallèle 16 500 plantules ont été produites en pépinière, avec des espèces forestières et fruitières variées, adaptées aux différentes zones, déjà connues et appréciées par les paysans pour leur importance économique.

Rappelons que sur la base des surfaces mises en jeu mesurées par des paysans formés à l'utilisation du GPS et de la productivité économique de ces terres, une aide financière est prévue pendant 10 ans pour compenser la diminution des revenus agricoles.

Les visites récentes montrent un taux de réussite des plantules de plus de 80 %. Les plantules non réussies vont être remplacées pour approcher les 100% de réussite. Plusieurs mois après les plantations, elles sont toujours en terre et continuent à se développer laissant envisager une bonne réussite dans la création de ces lots boisés. Considérant la pression démographique et agricole sur les terres de la zone, considérant la très faible réussite de ce type d'activité en général en Haïti, la méthode et la démarche développées semblent prometteuses. Des versants entiers pourraient passer d'une exploitation agricole destructrice et peu rentable à une exploitation sylvicole stabilisant et enrichissant les sols et productrice de revenus.

Pour exemple, la valeur d'une plantation adulte d'un hectare de bois de chêne haïtien (*Catalpa longissima*) ou de cèdre acajou (*Cedrela odorata*) (photo 16) est estimée entre 3,5 et 4,5 millions de gourdes (soit entre 63 600 et 81 800 €). Un hectare de plantation de manguiers de variété francisque (*Mangifera indica*) (photo 15) peut rapporter chaque année entre 350 000 et 550 000 gourdes soit entre 6 300 et 10 000€). On ne pourra se prononcer définitivement sur la réussite des lots boisés que dans quelques années lorsque les plantations auront un âge plus avancé.



Photo 15 : Plantation d'un manguiers surgreffé en variété francisque (2008)



Photo 16 : Cèdre acajou en développement (2009)

Structures antiérosives :

Les réflexions autour de la maquette en 3 dimensions sont axées sur le traitement de 2 types de zones :

- zones dégradées d'intérêt particulier : versant de ravines traitées, protection de zones habitées. Des choix sont faits entre murs secs ou bandes enherbées.
- zones productives, en pente, en voie de dégradation pour faciliter l'augmentation ou le maintien de la production. Des choix sont faits entre murs secs et 'bandes manger'.

Les aménagements suivants ont été réalisés :

- 2 hectares ou 2 600 m linéaires de murs secs. Des paysans ont reproduit les aménagements dans quelques parcelles en respectant les normes techniques enseignées (fondation, courbe de niveau). Par la suite, les structures devront être réparées en cas de dégâts et rehaussées lorsqu'un terrassement commencera à se former.
- 4 hectares ou 4 700 m linéaires de 'bandes manger'. Suite à un retard dans la livraison des drageons et des boutures, et suite à une incompréhension générale de cette méthode nouvelle, l'implantation des 'bandes manger' a majoritairement échoué. Les raisons ont été discutées par le comité de pilotage et une autre expérience va être tentée.
- 32 hectares ou 40 700 m linéaires de bandes enherbées, principalement d'herbes de guinée et de cannes à sucre. La technique d'implantation de ces structures est maîtrisée (photo 17) mais par la suite, l'absence de contrôle sur les caprins friands des jeunes pousses qui se développent dans les bandes reste

problématique. La localisation des bandes enherbées dans des parcelles dégradées, souvent loin des habitations, ne facilite pas leur suivi et entretien. Le taux de réussite est estimé à moins de 50%. Des parcelles sont cependant bien protégées (photo 18). Une reproduction spontanée de cette technique dans plusieurs parcelles est visible.

Pour 3 parcelles aménagées en bandes enherbées, les revenus obtenus ont été calculés et comparés aux parcelles voisines non aménagées. L'augmentation moyenne des revenus est de 60% et résulte surtout du développement d'une nouvelle production (fourrage, canne à sucre) et dans une moindre mesure d'une augmentation des rendements.



Photo 17 : Implantation de bandes enherbées par bouturage (ici herbe de guinée)



Photo 18 : Parcelle aménagée en bandes enherbées d'herbe de guinée

Pour mesurer l'impact des structures antiérosives sur l'érosion et l'infiltration des eaux, des systèmes de recueils des eaux de ruissellement (FAO 1977) ont été imaginés. Mais dans la zone reculée du projet, cette étude n'a pas été possible (pas de courant permanent même en ville, récolte et transport régulier des échantillons de sédiments vers l'étuve, coûts...)

Globalement, malgré des réussites et une réplification spontanée des techniques, l'implantation des structures antiérosives dans les parcelles agricoles reste difficile.

La gestion des nutriments et les transferts de fertilités :

Les fertilisants organiques (compost, déchets animaux) sont bien utilisés dans le cadre des lots boisés et des parcelles de maraichage, mais la production locale reste insuffisante et la majorité du compost est acheminée à partir de centres de production extérieurs à la zone. Les amendements en engrais minéraux pour les cultures maraichères, les parcelles de bananes et les rares 'bandes manger' réussies ont donné des résultats satisfaisants.

A ce jour, plus de 7 ha de parcelles agricoles sont intensifiés. Les parcelles de bananes, choux, aubergines, poivrons et piments permettent d'améliorer considérablement la productivité des terres et du travail avec une valeur ajoutée nette de 200 000 à 300 000 gourdes / ha environ (3 640 à 5 450 €/ha) pour 300 à 700 gourdes / hj de travail ou (3,6 à 12,7€/hj). Les cultures maraichères étaient inexistantes dans la zone avant le projet. Pour comparaison, sur ce type de terres fertiles, une association courante de maïs-pois noir permet de dégager une valeur

ajoutée moyenne de 31 200 gourdes / ha (soit 567€) pour 74 gourdes / hj de travail (ou 1,35€).

Habituellement, les transferts de fertilité se font des parcelles éloignées et dégradées vers les parcelles plus productives près des habitations, en particulier vers les 'jardins lakou'. Ici, un transfert de fertilité est aussi engagé dans l'autre sens : vers les zones dégradées des lots boisées et vers certaines parcelles avec aménagements antiérosifs. Des observations montrent aussi l'utilisation spontanée par certains agriculteurs de déchets animaux épandus aux pieds des jeunes plantules, autre signe encourageant pour la réussite de ces plantations.

Globalement, les pratiques de fertilisation organique restent peu développées et sont à vulgariser à plus grande échelle sur toutes les parcelles aménagées. La mise en place de boutiques d'intrants agricoles dans la zone facilitera aussi la disponibilité à prix réduits d'engrais minéraux.

Discussion / Conclusion :

Cet article présente la démarche développée dans un projet de développement. L'ensemble des résultats chiffrés ci-dessus sont issus de quelques enquêtes qui ne satisfont pas aux règles d'échantillonnage et de traitement statistique d'une démarche scientifique de recherche. Mais par rapport au temps et ressources disponibles, ces enquêtes restent nécessaires dans la recherche d'indicateurs pour estimer les résultats atteints.

Nous l'avons vu, la participation de la communauté est réelle pour la priorisation des zones à traiter, notamment pour la recherche de l'augmentation de la production ou des revenus via le développement des techniques antiérosives et de fertilisation adaptées. Les paysans sont acteurs de la réflexion concernant ces techniques, celles-ci sont alors mieux comprises, choisies et maîtrisées.

Mais la méthode présentée ici est un moyen, pas une fin. Il est clair que :

- la réussite des traitements de ravines est aussi le résultat d'une bonne exécution technique de ces aménagements.
- la réussite des lots boisés est aussi liée à la démarche de compensation financière des pertes agricoles précisée clairement par contrat.
- les difficultés pour les structures antiérosives dans les parcelles sont liées à des problèmes multiples : fonciers (faire valoir indirect, atomisation des parcelles), moyens de contrôle des aménagements (parcelles éloignées, élevage de caprins), manque d'intérêt de certains exploitants...

L'érosion en Haïti résulte d'un contexte socioéconomique difficile pour la population rurale. La lutte antiérosive ne peut pas être isolée d'actions complémentaires : intensification agricole, maraichage, greffage, développement des services de base, appui aux organisations de base... Grâce à la maquette, la lutte antiérosive est justement intégrée à une démarche plus complète de développement et d'aménagement, confortant l'approche de la GCES pour une amélioration globale des conditions de vie des populations rurales. Là encore la population peut participer à la proposition de plans achevés et ambitieux. Dans la zone, afin de rendre

accessible à la communauté le plan d'aménagement récemment défini, l'opportunité de le retraduire sous forme de maquette est en discussion.

Même dans un bassin versant de petite taille (45 km²), fortement dégradé, quel peut être l'impact réel des aménagements présentés ici sur le ruissellement et l'érosion à l'échelle du bassin ? Un changement d'échelle s'impose. Aussi pour atteindre des résultats plus probants, des problèmes sont à résoudre au niveau national : Comment gérer la pression démographique : développement du secteur secondaire et tertiaire pour diminuer la pression du secteur primaire ? Accès à la santé et à la contraception ? Et comment diminuer la demande de charbon : développement d'énergies alternatives au charbon ? Lesquelles ? Quelle politique énergétique ? Même si ces dimensions dépassent le cadre de notre intervention, le modèle développé et présenté ici pourrait être répliqué pour faciliter la lutte antiérosive en Haïti ou ailleurs.

Références bibliographiques :

Aurélien A., 2007 : Etude de réhabilitation du périmètre irrigué de Vieux Camp - Commune de Anse Rouge - Département de l'Artibonite – Haïti. AVSF-GTIH. 51p.

Bennani S., Dory V., 2003. Diagnostic agraire du bassin versant de la rivière Fond Melon. IRAM – CICDA – CROSE. 91p.

Delerue F., 2007 : La problématique des bassins versants en Haïti. AVSF-CROSE. 31p.

Delerue F., 2009 a : Diagnostic du bassin versant de la rivière Fond-Melon et plan d'action. AVSF – CROSE. 202p.

Delerue F., 2009 b : Plan de développement et d'aménagement de la section communale de Fond Melon Michineau. AVSF-CROSE. 37p.

FAO (United Nation Food and Agriculture Organisation) 1977: Aménagement des bassins versants. 231p.

Flavelle A., 2002: Mapping our land: A guide to making maps of our own communities and traditional lands. 204p.

Gonda N, Pommier D., 2008 : Herramienta para la gestión social del territorio y de los recursos naturales : metodología participativa para una maqueta de su territorio. 57p.

GRET – FAMV (Groupe de Recherche et d'Echange Technologique – Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire), 1991: Manuel d'agronomie tropicale appliqué à l'agriculture haïtienne. 489p.

IHSI (Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique) 2003 : Quatrième recensement général de la population et de l'habitat. Sur CD-ROM.

Michel R., 2005 : L'espace caféier en Haïti. Ed. Karthala – IUED. 211p.

Rambaldi G., Callosa-Tarr J., 2002: Participatory 3 dimensional modelling: guiding principles and applications. Association of South-East Asian Nations – Régional Center for Biodiversity Conservation (ARCB). 72p.

Roose E., 1994 : Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). FAO, 420p. (aussi en anglais)

Smolikowski B., 1993 : La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) : une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haïti. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 28, ' 2 : 229-252.

Smucker G.R. et al., 2006 : Vulnérabilité environnementale en Haïti : Conclusions et Recommandations. USAID. 146p.

www.agriculture.gouv.ht : site du Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural en Haïti.

www.iapad.org : plateforme sur le développement et la cartographie participative (integrated approaches to participatory development IAPAD).

EVALUATION DES PERTES EN TERRES EN REGION DE MONTAGNE TROPICALE HUMIDE (cas du massif volcanique des Bambouto - Ouest Cameroun)

LEUMBE LEUMBE Olivier¹, BITOM Dieudonné², ASSAKO ASSAKO René³

leumbeleumbe@yahoo.com

¹ Institut National de Cartographie

² Université de Yaoundé I

³ Ecole Normale Supérieure de Yaoundé

Résumé

Le massif volcanique des Bambouto dans l'Ouest Cameroun, est un écosystème de montagne tropicale humide particulièrement exposé à la dégradation des sols en raison de son relief très accidenté, de la forte pluviosité et de la faible densité de son couvert végétal. Sur un tout autre plan, les sols de la région, réputés fertiles, attirent les populations et cette pression anthropique sur le milieu accroît encore la vulnérabilité de cet environnement de montagne tropicale, avec pour conséquence une intense érosion des sols.

Afin d'évaluer l'ampleur de ce phénomène dans la région, l'Equation Universelle des Pertes en Terre (USLE) de Wischmeier et Smith (1978) a été mise à contribution pour la quantification des taux d'érosion, estimée à $674 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$; et l'intégration des paramètres de cette équation dans un système d'information Géographique a permis d'y spatialiser et d'hierarchiser les pertes en terre.

Au vue de la vitesse de dégradation du couvert végétal naturel dans la région, les taux d'érosion devraient croître avec le temps et conduire à moyen terme à une situation de crise alimentaire dans ce secteur peuplé à 90% d'agriculteur Bamiléké.

Mots clés: *Montagne tropicale humide, Mt Bambouto, dégradation des sols, taux d'érosion, système d'information géographique.*

Abstract

The Bambouto volcanic mountains in the western Cameroon is an ecosystem of humid tropical mountain particularly exposed to the degradation of soils because of its accidented relief, high rainfall and the low vegetation cover. On the other hand, the soils of the region with known fertility, attracts the population whose anthropic pressure on the milieu increases the vulnerability of its environment with remarkable degradation of soils through erosion.

In order to evaluate the rate of erosion in the region, the Universal Soil Loss Equation (USLE) of Wischmeier and Smith (1978) was used for the estimation of total soil losses due to erosion; evaluated at $674 \text{ t/ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Considering the rate of degradation of the natural vegetal cover, the erosion rate would rise and the fall in soil fertility demonstrated through severe reduction in agricultural production, and in the medium term to a severe food shortage in this sector populated to 90% by Bamileke farmers.

Key words: *Tropical humid mountain, Mt Bambouto, soil degradation, erosion rate, geographic information system.*

INTRODUCTION

L'Agenda 21 de Rio de Janeiro en 1992 a démontré la fragilité des environnements montagnards (Beniston, 2000), en raison de leur relief très accidenté et de la faible densité du couvert végétal (Morgan, 1995). La fragilité de ces environnements dans les régions tropicales humides est aggravée par la pluviosité qui y est particulièrement élevée (Ngoufo, 1988 ; Chavez, 2003).

Compte tenu de ces facteurs extrinsèques, les sols de ces régions sont potentiellement exposés à la dégradation, qui se manifeste principalement par l'érosion hydrique, phénomène lent, continu et irréversible (Auzet et *al.*, 1987 ; Bonn, 1998).

Par ailleurs, compte tenu des propriétés intrinsèques de ces sols, particulièrement propices à l'agriculture (Tematio et Olson, 1997), ces milieux subissent une forte pression anthropique qui accroît encore la vulnérabilité de ces écosystèmes de montagne tropicale humide (Delannoy et Rovéra, 1996 ; Reusing et *al.*, 2000).

De nombreuses études ont déjà été faites en relation avec l'érosion des sols dans plusieurs régions du monde (Roose, 1977 ; Roose, 1981 ; Pierce, 1991 ; Jager, 1994). Cameroun cependant, les connaissances dans le domaine restent parcellaires ; d'où une quasi impossibilité d'avoir une idée sur l'ampleur dudit phénomène, conditions pourtant indispensables pour une prise de mesures conservatoires adaptées et efficaces.

Le choix de la zone d'étude s'est porté sur les hautes terres de l'Ouest Cameroun car, les observations faites par Fotsing (1989) qui y notait que l'érosion constituait la principale menace pour les paysanneries de la région sont nettement perceptibles aujourd'hui. Mais, dans l'impossibilité de mener ces travaux sur ce vaste ensemble, le massif volcanique des Bambouto a été retenu comme site d'étude en raison de sa grande diversité morphologique, climatique, géologique, pédologique et phytogéographique (Schnell, 1977 ; Tchoua, 1974 ; Ngoufo, 1988 ; Morin, 1988 ; Tematio et Olson, 1997).

L'objectif de la présente étude est donc d'une part, de quantifier les pertes en terre sur les sols du massif volcanique des Bambouto à l'aide de l'Equation Universelle des Pertes en Terre (*USLE*) de Wischmeier et Smith (1978) et d'autre part, par intégration des paramètres de cette équation dans un système d'information géographique, de spatialiser et d'hierarchiser la répartition des pertes en terre sur l'ensemble du massif. L'*USLE* expérimentée aux Etats Unis, est de plus en plus mise à contribution sur les sols volcaniques en région de montagne tropicale humide par de nombreux auteurs (Verbista et *al.*, 2002 ; Miller J.D et *al.*, 2003 ; Chavez, 2003 ; Rakotoarison, 2003). Dans le massif volcanique des Bambouto, le modèle a été appliqué sur les sols formés sur pentes comprises entre 2 et 25%, ce qui représentent environ 75% de la superficie totale de la région (Leumbe Leumbe, 2008).

I- CADRE NATUREL ET METHODES D'ETUDES

1- Le milieu physique du massif des Bambouto

Le massif volcanique des Bambouto, situé entre 5°25' et 5°45' de latitude Nord et entre 10°00' et 10°15' de longitude Est, culmine à 2740 m d'altitude au mont Méléta (fig. 1). Il présente quatre domaines morphologiques ; il s'agit de la caldeira, de la zone haute, de la zone moyenne et de la zone basse.

La caldeira, d'altitude comprise entre 840 et 2740 m est caractérisée par un relief très accidenté (fig. 1), un climat très frais et très brumeux marqué par des températures très basses (moins de 10°C en moyenne) (Ngoufo, 1988). La pluviosité

est élevée (plus de 3500 mm d'eau par an). Le réseau hydrographique est subparallèle, radiaire et très dense.

La zone haute, d'altitude supérieure à 2000 m, présente un relief accidenté (fig. 1). Le climat y est frais, avec des températures basses (10 à 13°C) ; les brumes et les brouillards sont fréquents. La pluviosité est élevée (2500 mm d'eau par an). Le réseau hydrographique est subparallèle, radiaire (Tématio et al., 2004).

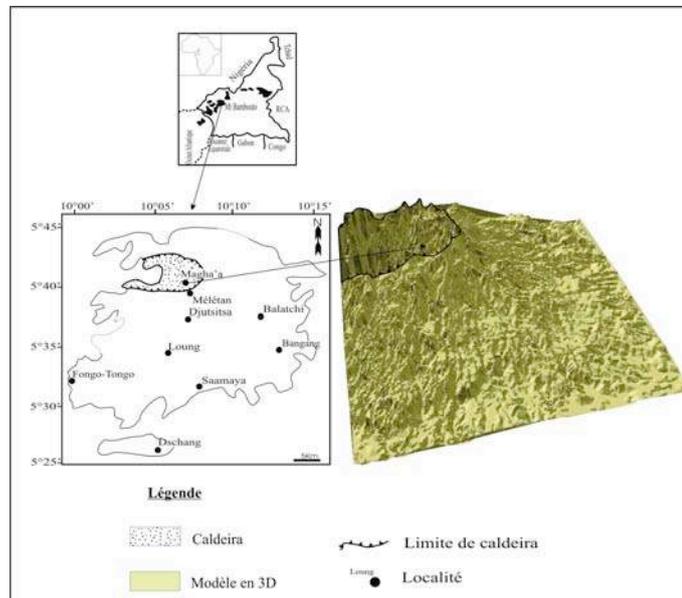


Figure 1 : Localisation, configuration et modèle en 3D du massif volcanique des Bambouto.

La zone moyenne (1600 et 2000 m d'altitude) (fig. 1), a un relief vallonné. Le climat y est frais et humide, avec une température moyenne de 18°C (Ngoufo, 1988). La pluviométrie moyenne annuelle est de 1690 mm et le réseau hydrographique est subdendritique.

La zone basse, d'altitude comprise entre 1400 et 1600 m présente un relief ondulé. Le climat est chaud et humide, avec une température moyenne de 23,5°C. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1750 mm et le réseau hydrographique est subdendritique.

Sur le plan géologique, les trachytes sont les roches les plus répandues sur le massif. Ils sont associés aux basaltes, aux phonolites, aux rhyolites et aux produits de projections ; l'ensemble reposant sur un socle granito-gneissique (Tchoua, 1974 ; Youmen, 1994).

Sur le plan phytogéographique, les domaines au dessus de 2400 m d'altitude sont dominés par une prairie à graminées. En dessous de cette altitude, apparaissent des formations forestières dans la caldeira, tandis que sur les versants, se prolongent des prairies à *sporobolus* jusqu'à 1600 m. Les vallées plus ou moins marécageuses sont colonisées par les raphiales. Cependant, cette végétation est très fortement anthropisée.

Sur le plan pédologique, les sols andosols prédominent dans la caldeira et la zone haute du massif (Tématio et al., 2004), la zone moyenne est le domaine des sols andiques ferralitiques (Leumbe Leumbe et al., 2006) et la zone basse est dominée par les sols ferralitiques typiques (fig. 1).

2- Matériels et méthodes d'études

L'évaluation des taux d'érosion s'est faite suivant l'Equation Universelle des Pertes de Terre de Wischmeier et Smith (1978). Il s'agit d'un modèle dans lequel l'érosion (A) est le produit de l'érosivité (R), l'érodibilité (K), la longueur (L) et l'inclinaison (S) des versants, la couverture végétale (C) et les mesures antiérosives (P) : $A = R \times K \times LS \times C \times P$.

a- Le Facteur de répartition des précipitations (R)

Le calcul du facteur de répartition des précipitations (R) s'est fait selon la formule proposée par Roose (1981) : $R = p \times a$

Avec : p = précipitation moyenne annuelle, $a = 0,2$ en région de tropicale.

La spatialiséation de R s'est faite par *krigeage* sous *ArcGIS 9.2*, grâce aux données pluviométriques recueillies sur au moins 30 ans dans les stations météorologiques situées sur le massif volcanique des Bambouto et dans ses environs immédiats (fig. 2).

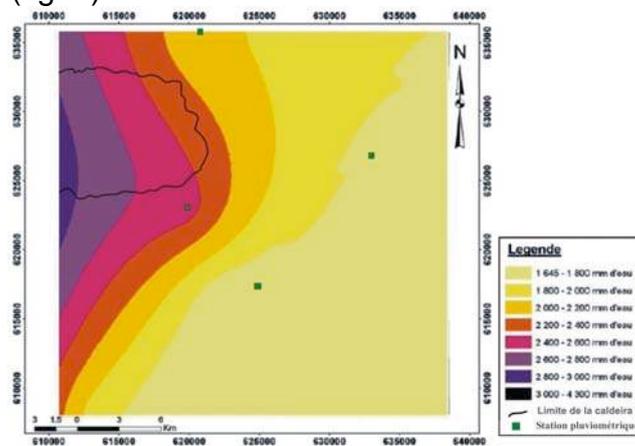


Figure 2 : Carte de répartition des précipitations moyennes mensuelles sur le massif

b- Le Facteur d'érodibilité des sols (K)

Le facteur d'érodibilité est calculé selon la formule :

$$1000 K = 2,8 \times 10^{-4}(12 - MO (\%)) \times M^{1,4} + 3,25 (S - 2) + 2,5 (P - 3)$$

Avec : MO : matière organique, $M = (\% \text{ sables} + \% \text{ limons}) \times (100 - \% \text{ argiles})$, S : code sur la structure du sol ($1 < S < 4$), P : capacité d'infiltration ($1 < P < 6$).

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques sols du massif des Bambouto

NATURE DU SOL	Profondeur	MO	A	S	L
Andosols très peu différenciés sur reliefs peu pentus	0 - 60	16,1	32,7	26	41,3
Andosols très peu différenciés sur reliefs pentus	0 - 40	20,0	13	29,4	57,6
Andosols bien différenciés	0 - 60	16,15	16,1	40,0	43,9
Sols andiques ferralitiques	0 - 20	5,64	60,1	31,7	9,8
Sols ferralitiques typiques	0 - 13	6,51	37	26,6	36,3
Lithosols	0 - 30	2,94	33,0	15,6	51,3

MO : Matière organique, A : Argile, L : Limon, S : Sable

Pour la détermination des codes sur la structure S , le diagramme textural de Bouma et Van Lanen (1986) a été mis à contribution (fig. 3).

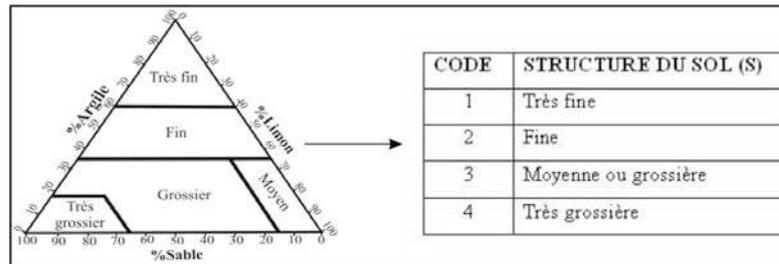


Figure 3 : Diagramme textural de Bouma et Van Lanen (1986) et signification des codes sur la structure du sol (d'après Wischmeier et Smith, 1978).

Tableau 2: Signification des codes sur la perméabilité (d'après King et le Bissonnais (1992))

CODE	CLASSE DE TEXTURE	PERMEABILITE (P)
1	Argile<18% et Sable>65	Rapide
2	18%<Argile<35% et Sable >15% ou 15%<Sable<65% et Argile <18%	Moyenne à rapide
3	Argile<35% et Sable<15%	Moyenne
4	35%<Argile<60%	Lente à moyenne
5	Argile>60%	Lente

La spatialisation du facteur d'érodibilité sous ArcGIS 9.2 a permis d'obtenir la carte d'érodibilité des sols du massif des Bambouto (fig. 4)

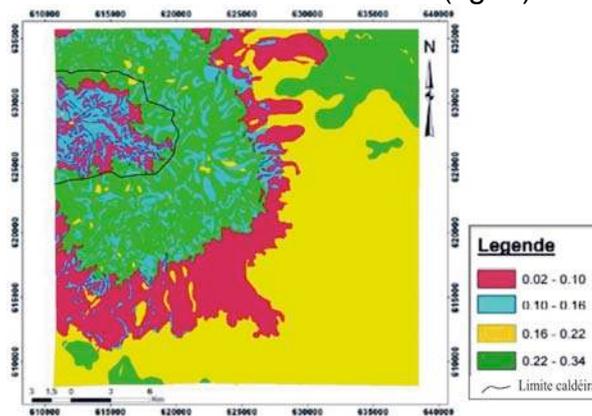


Figure 4: Carte d'érodibilité des sols du massif volcanique des Bambouto.

c - Le facteur du relief (LS)

Pour le facteur du relief, $LS = (X/22,15)^m \times (66,41\sin^2S + 4,56 \sin S + 0,065)$
Avec: X : longueur de la pente et S : degré de la pente. $m = 0,5$ pour $S > 5\%$, $m = 0,4$ pour $3,5 < S < 4,5\%$, $m = 0,3$ pour $1 < S < 3\%$ et $m = 0,2$ pour $S < 1\%$.

La spatialisation du facteur LS s'est faite sous ArcGIS 9.2, à partir du modèle numérique de terrain (MNT) établie par numérisation manuelle des courbes de niveau de la feuille Bafoussam 3a à 1/50 000 qui couvre l'ensemble de la zone d'étude. Ensuite, les pentes obtenues ont été classifiées de manière à isoler les classes qui ne sont pas prise en compte dans l'Equation Universelle des Pertes en Terres de Wischmeier et Smith (1978) ; à savoir les pentes comprises entre 0 et 2% et celles qui sont supérieures à 25% (fig. 5).

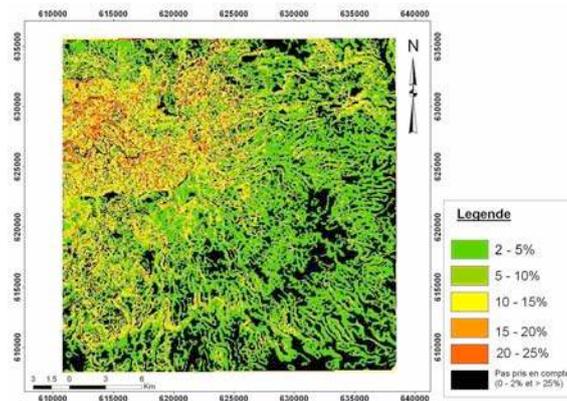


Figure 5 : Modèle numérique de terrain du massif volcanique des Bambouto.

d - Le facteur des pratiques culturales (P)

Le facteur des pratiques cultural (P) dépend de la pente ; il est inférieur à 1 si les méthodes de lutte antiérosives sont prises en compte dans les processus de gestion des sols (tab. 3), ou égale à 1 dans le cas contraire.

Tableau 3: Valeur de P-value et correspondance (Wischmeier and Smith (1978)).

Mode d'occupation du sol	Pentes	P
Zone de culture	2 – 5	0.1
	5 – 10	0.12
	10 – 20	0.14
	20 – 25	0.19
Autres		1

La spatialisation du facteur P s'est fait sous ArcGIS 9.2 (fig. 6).

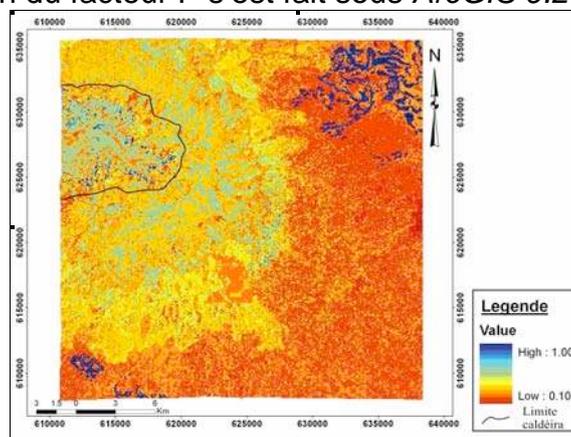


Figure 6 : Carte du facteur pratique cultural

e- Le facteur du couvert végétal (C)

Pour ce paramètre, Roose (1977) a défini : $C = 1$ pour les sols nus, $C = 0,5$ pour les espaces agricoles et $C = 0,001$ en présence du couvert forestier.

La spatialisation de (C) a nécessité, sous ERDAS IMAGE 9.1, l'application d'une classification supervisée sur une image satellite Landsat ETM+ de résolution 30 x 30 m acquise le 05 février 2001. Ensuite l'image a été reclassifiée suivant les variables correspondantes sous ArcGIS 9.2 (fig. 7).

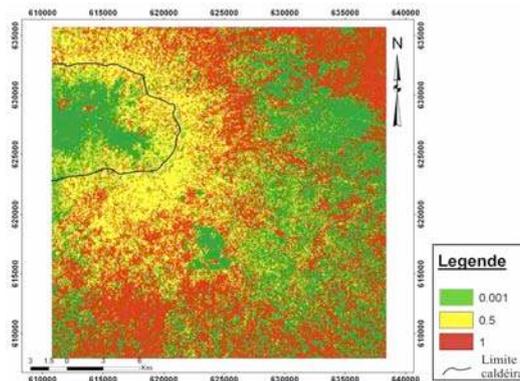


Figure 7 : Carte du facteur de couverture végétal.

III- RESULTATS

1- Evaluation des pertes en terre par unité pédologique

Les résultats de l'évaluation des pertes en terre sont résumés dans le tableau

4.

Tableau 4: Taux d'érosion (A) par unité pédologique dans le massif des Bambouto.

<i>Paramètres</i> <i>Unités pédologiques</i>	R (MJ.mm/ha.hr.an)	K (MJ ⁻¹ mm ⁻¹ hr)	LS	C	P	A (t ha ⁻¹ an ⁻¹)
Andosols très peu différenciés sur reliefs pentus sous culture	668,4	0,331	18,60	0,5	0,19	391
Andosols très peu différenciés sur reliefs pentus sous forêt	668,4	0,331	18,60	0,001	1	4
Lithosols	332	0,326	10,45	1	0,14	158
Andosols très peu différenciés sur reliefs peu pentus	490	0,604	6,05	0,5	0,12	107
Andosols typiques	380	0,287	1,51	0,5	0,1	11
Sols ferrallitiques typiques	332	0,173	0,804	0,5	0,12	2
Sols andiques ferrallitiques	380	0,056	0,65	0,5	0,1	1

La multiplication de cartes obtenues par spatialisation des paramètres de l'*USLE* sous le *Raster Calculator* d'*ArcGIS 9.2* a permis d'hierarchiser la distribution de l'érosion des sols sur le massif volcanique des Bambouto (fig. 8).

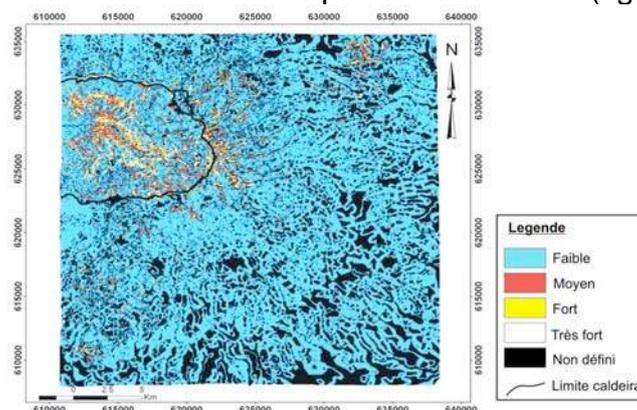


Figure 8 : Carte de répartition des pertes en terres sur les sols du massif des Bambouto.

Les taux d'érosion atteignent les valeurs très fortes sur les andosols très peu différenciés sur reliefs pentus (391 t ha⁻¹ an⁻¹), sur les andosols très peu différenciés sur reliefs peu pentus (158 t ha⁻¹ an⁻¹) et sur les lithosols (107 t ha⁻¹ an⁻¹) (tab. 4). Sur les andosols typiques le taux est de 11 t ha⁻¹ an⁻¹; 4 t ha⁻¹ an⁻¹ sur les andosols très

peu différenciés sur reliefs pentus dans la caldeira, sous couvert forestier ; $2 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ les sols ferrallitiques typiques et $1 \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ sur les sols andiques ferrallitiques. En somme, les sols sur lesquels le taux d'érosion est faible représentent 68% de la superficie du massif, contre 5% seulement pour les domaines à risques moyen à très fort (fig. 8).

2- Caractérisation des principales figures d'érosion dans le massif

L'érosion se manifeste dans le massif sous forme de griffes, de rills, de rigoles et de ravins. Les griffes sont observées sur les andosols très peu différenciés sur reliefs peu pentus, sous culture. Ce sont des micro formes de profondeur inférieure au lit des semences, large d'environ 15 cm et de dont la longueur est partout inférieure à un mètre.

Les rills sont décrits sur les andosols très peu différenciés sur reliefs pentus, sous couvert végétal naturel ou sous culture. Ils sont rectilignes, parallèles les unes aux autres et orientés dans le sens de la plus grande pente. Ces incisions de profondeur n'excédant pas 30 cm, ont une largeur moyenne de 90 cm et une longueur pouvant atteindre 3,5 m.

Les rigoles sont observables sur toutes les unités pédologiques, sous couvert végétal naturel ou sous culture. Elles se caractérisent par une profondeur atteignant 100 cm par endroit, pour une largeur moyenne de 80 cm.

Les ravins sont également décrits sur l'ensemble du massif, sous couvert végétal naturel ou sous culture. Leur profondeur peut dépasser 2 m mètres et la largeur atteindre 5 m.

4. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS

- Validité de la méthode d'étude

L'Equation Universelle des Pertes en Terre (*USLE*) de Wischmeier et Smith (1978), est un modèle très utilisé à travers le monde pour la quantification des taux d'érosion (Lafren et Moldenhauer, 2003).

Cependant, la détermination des pertes en terre par l'*USLE* a nécessité quelques adaptations au fil du temps (Moore et Wilson, 1992). Par exemple, la disponibilité de données sur l'intensité de pluies maximales à intervalles de 30 minutes sur une période d'au moins 30 ans, nécessaire pour le calcul du facteur d'agressivité des précipitation (R) n'est pas toujours évidente. Roose (1981) a alors établi la formule $R = p \times a$, dans laquelle le facteur « p » représente l'intensité des pluies moyennes annuelles beaucoup plus accessibles et « a » un coefficient variable d'un écosystème à l'autre. Dès lors, de nombreux auteurs ont pu appliquer l'*USLE* de Wischmeier et Smith (1978) dans plusieurs régions tropicales du monde. C'est le cas de Khan *et al.* (1992) et Chambers (1998) au Pakistan, de Verbista (2002) dans la région de Sumatra en Indonésie, de Chavez (2003) dans la chaîne de montagnes de Los Maribios au Nicaragua ou de Karine *et al.* (2006) au Vietnam.

- Evaluation de l'importance des pertes en terre en milieu de montagne tropicale humide

Les pertes en terre totales dans le massif volcanique des Bambouto sont d'environ $674 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Cette valeur montre que l'érosion y est considérable, renforçant ainsi les observations faites par Chavez (2003) sur le massif volcanique de Los Maribios au Nicaragua, ou celles de Rakotoarison (2003) sur les hautes terres malgaches, ou encore Karine et Ferdinand (2006) au Vietnam.

Dans ces milieux, l'intensité des pertes en terre semble étroitement liée à l'anthropisation. C'est ainsi que dans la caldeira du massif des Bambouto, sur les

andosols très peu différenciés développés sur relief pentus et à couvert forestiers entièrement détruit, le taux d'érosion est maximal ($391 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). Par contre, sur des parcelles voisines de même nature pédologique, situé sur des pentes similaires mais sous couvert végétal naturel conservé, le taux d'érosion tombe à $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Ceci correspond à une réduction des pertes en terres de près de 97%, confirmant clairement le rôle déterminant du couvert végétal naturel dans la protection des sols contre l'érosion hydrique. Ce rôle protecteur du couvert végétal avait été mis en exergue par Elwell (1981), lorsqu'il démontrait sur les oxisols au Zimbabwe qu'il suffit de recouvrir 40 % environ de la surface du sol par des cultures pour réduire les pertes en terres de 80 %. De même, Roose (1981) a démontré que l'érosion sous culture est 1000 fois plus élevée que sous forêt, quelque soit la pente.

Cependant, il est à relever que les conditions du milieu sont un facteur également important. En effet, en comparant les taux d'érosion sur les andosols très peu différenciés sur relief pentus ($391 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) à ceux obtenus sur les sols formés sur relief peu pentus ($107 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$), il apparaît qu'avec une réduction de moitié de l'inclinaison des versants, les taux d'érosion baissent de 70% environ. Ces observations sont en conformité avec celles faites par Roose (1981) et Tardy (1993), qui ont démontré que l'érosion croît avec l'inclinaison et la longueur des versants.

Ainsi, les pressions anthropiques sans cesse croissantes qui s'exercent depuis le début des années 1980 sur les sols du massif volcanique des Bambouto s'accompagnent d'une destruction effrénée du couvert végétal naturel, exposant de plus en plus les sols aux agents naturels du milieu, très propices à une intense érosion hydrique. A ce rythme, dans ce milieu de montagne tropicale humide peuplé à plus de 90% d'agriculteurs, l'érosion hydrique pourra conduire à moyen terme à une situation de crise alimentaire grave. Pour y remédier, la principale action à mener semble être la pratique de l'agroforesterie, peu onéreuse, qui a le mérite d'assurer une bonne couverture du sol.

CONCLUSION

L'évaluation des pertes en terre (modèle USLE) sur les sols du massif volcanique des Bambouto dans l'Ouest Cameroun a révélé que dans les régions de montagne tropicale humide, la dégradation du couvert végétal naturel est le facteur déterminant dans ce processus. Si des mesures conservatoires ne sont pas prises en compte dans la gestion de ces écosystèmes naturellement fragiles, les taux d'érosion devraient croître au fil des années et la baisse de la fertilité des sols qui se traduit déjà dans le massif des Bambouto par une diminution significative des rendements agricoles, conduira à moyen terme à une situation de crise alimentaire.

BIBLIOGRAPHIE

- AUZET V., LILIN C., PAULET B., 1987. - L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grandes cultures : aspects agronomiques. Paris Ministère de l'Environnement / Ministère de l'Agriculture, 60 p.
- BENISTON, M., 2000 - Environmental change in mountains and uplands. Arnold / Hodder and Stoughton / Chapman and Hall Publishers, London and Oxford University Press, New York, 172 p.
- BONN F., 1998. - La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG: possibilités, erreurs et limites. *Sécheresse*, 9, 3 : 185-192.
- CHAVEZ R., 2003. - Modelling soil erosion risk in the Los Maribios volcanics chain, Nicaragua. In *Tropical Resources Bulletin*. 25 : 434 – 442.
- DELANNOY, J.-J. et ROVERA, G., 1996 - L'érosion dans les Alpes occidentales : contribution à un bilan des mesures et des méthodes. *Revue de géographie alpine*, 84, 3 : 87-101.
- DONGMO, J., 1981.- Le dynamisme Bamiléké. La maîtrise de l'espace agraire. Vol. 1, CEPER, Yaoundé, 427p.

- ELWELL H. A., 1981- A soil loss estimation technique for southern Africa SLEMSA In: Conservation Problems and Prospects. Morgan (ed). John Wiley, Chichester pp. 281 – 292.
- FOTSING J. M., 1989. – Colonisation agricole et évolution de l'élevage sur les pentes Sud des monts Bambouto (Ouest Cameroun). In *Revue de Géol. du Cameroun*. Vol IX.
- JÄGER, S., 1994. - Modelling Regional Soil Erosion Susceptibility Using the Universal Soil Loss Equation and GIS. In: Rickson, R.J (ed). *Conserving Soil Resources. European Perspectives*, : 161-177. CAB International.
- KARINE VEZINA et FERDINAND BONN, 2006 - Modélisation et analyse de la dynamique spatio-temporelle des relations société-érosion et pollution diffuse en milieu agricole : étude de cas au Viêt Nam et au Québec. CARTEL, Univ. de Sherbrooke, JIK2RI, Québec, 6 p.
- KONÉ M., 1998. - Étude par télédétection des structures spatiales en milieu de savane : cas du Parc National de la Comoé. *Mémoire de DEA, Université d'Abidjan*, 65 p.
- KING D., LE BISSONNAIS Y., 1992 - Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du nord de l'Europe. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 78, n°6, p. 91 -105.
- LAFLEN J. M. & MOLDENHAUER W. C., 2003. - Pioneering soil erosion prediction: the USLE story. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC), Special Publication no 1, 54 p.
- LAVENU F., 1984. - Télédétection et végétation tropicale. Exemple du nord-est de la Côte-d'Ivoire et des mangroves du Bangladesh. *Thèse Univ. Paul Sabatier de Toulouse*, 189 p.
- LEUMBE O., BITOM D., TEMATIO P., TEMGOUA E. et LUCAS Y., 2005.- Etude des sols ferrallitiques à caractères andiques sur trachytes en zone de montagne humide tropicale (Mont Bambouto – Ouest Cameroun). *Etude et Gestion des Sols*, Vol 12, 4, pp. 313 à 326.
- LEUMBE LEUMBE O., 2008. – Evaluation et cartographie au moyen d'un système d'information géographique des zones à risque d'érosion et de glissement de terrain en région de montagne tropicale humide (mont Bambouto – Ouest Cameroun). Thèse de Doct. Ph/D Université de Yaoundé I, 153p.
- MILLER J. D, NYHAN J.W and YOOL S.R , 2003.- Modelling potential erosion due to the Cerro Grand Fire with a GIS-based implementation of the revised Universal Soil Lost Equation. *International journal of Wildland Fire*, 2003, 12. 85 – 100.
- MORGAN, R.P.C., 1974. Estimating regional variation in soil erosion hazard in Peninsular, Malaysia. *Malayan Nature Journal* 28: 94-106.
- MORIN S. , 1988. – La dissymétrie fondamentale des Hautes Terres de l'Ouest Cameroun et leurs conséquences sur l'occupation humaine. Exemple des Monts Bambouto. In « *l'Homme et la montagne tropicale* », éd. Séparit, Bordeaux, pp. 35 – 56.
- NGOUFO R., 1988. – Les Monts Bambouto. Environnement et utilisation de l'espace. Thèse Doct. 3^{ème} Cycle de Géographie physique, Univ. Yaoundé I, Vol. 1 et 2 ; 374
- PIERCE F. J., 1991. - Erosion productivity impact prediction. Pp. 35-52 in Lal, R. and Pierce, F. J. eds. *Soil Management for Sustainability. Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, Iowa.
- RAKOTOARISON H. F., 2003. – Evaluation économique des bénéfices hydrologiques du programme environnement III à Madagascar. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Univ. Antananarivo, 72p.
- ROOSE E., 1977.- Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest: 20 années de mesures en petites parcelles expérimentales. Bondy: ORSTOM, coll. «Travaux et documents», 108 p.
- ROOSE E., 1981- Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique très désaturé sur sédiments argilo-sableux sous culture et sous forêt dense humide subéquatoriale du Sud de la Cote d'Ivoire. Adiopodoumé : 1964 à 1976. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 17, 4 : 259 -281
- SCHNELL, 1977. – Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Tome IV. La flore et la végétation de l'Afrique tropicale. Paris, Gauthier-Villars, 1977, 378p.
- TARDY Y., 1993. - Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Ed. Masson, Paris, 459p.
- TCHOTSOUA F. , 1974. - Contribution à l'étude géologique et pétrographique de quelques volcans de la ligne du Cameroun. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Clermont Ferrand, 247p.
- TEMATIO P. and OLSON K., 1997. – Impact of industrialized agriculture on land in Bafou, Cameroon. *Journal of soil and water conservation, USA*, pp 404 - 405.
- TEMATIO P. L. KENGNI, D. BITOM, M. HODSON, J.C. FOPOUSSI, O. LEUMBE, H.G. MPAKAM, D. TSOZUE, 2005.- Soils and their distribution in Bambouto mountain, West Cameroon highland, Central Africa *Journal of African Earth Sciences*, 39: 447 – 457.
- VERBISTA J. P , M. VAN NOORDWIJKA, A. C. TAMELINGB , K. C. L. SCHMITZB AND S. B.L. RANIERIA, 2002.- A Negotiation Support Tool for Assessment of Land Use Change Impacts on erosion in a Previously Forested Watershed in Lampung, Sumatra, Indonesia. *International Centre for Research in Agroforestry, Southeast Asian Regional Research Program, Netherlands*, 95 p.

- WISCHMEIER, W.H. and D.D. Smith, 1978.- Predicting Rainfall Erosion Losses, a Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook, no. 537, US Department of Agriculture, Washington D.C.
- YOUMEN D, 1994 – Evolution volcanique, pétrographique et temporelle de la caldeira des monts Bambouto (Cameroun), Thèse doc. Univ. Kiel ; Allemagne, 273 p.

UTILISATION DES SIG POUR L'AMENAGEMENT DU BASSIN-VERSANT DE L'ISSER (ALGERIE)

M. BOUGHALEM¹, M. MAZOUR¹ ET M. ZAAGANE²

Courriels : boughalem_2000@yahoo.fr, mohamed_mazour@yahoo.fr

¹ laboratoire de conservation de l'eau, du sol et des forêts (Tlemcen) :

² Laboratoire systèmes biologiques et la géomatique (Mascara)

Résumé :

Situé au nord-ouest de l'Algérie, le bassin versant de l'Isser, espace fragilisé par les épisodes de sécheresse et caractérisé par des affleurements de marnes et d'argiles très fragiles, présente une forte sensibilité à l'érosion hydrique. En plus de la détérioration de la qualité de l'eau qu'il entraîne, le phénomène érosif dans cette zone, constitue l'accusé principal de la dégradation du patrimoine sol. Il résulte de la conjonction de plusieurs facteurs : agressivité des pluies, érodibilité des sols, dissection du relief, faiblesse du couvert végétal... La reconnaissance des zones ravinées et la précision des caractéristiques climatiques et hydriques de la zone d'étude, peuvent servir de base à l'élaboration d'un plan d'aménagement antiérosif adapté aux conditions du milieu.

Pour ce faire, une carte de localisation des zones à haut risque, au niveau du bassin versant, correspondant au croisement d'une série de cartes thématiques, a été établie. Cette carte permet de mettre en évidence les zones nécessitant un aménagement prioritaire. La synthèse de l'ensemble des résultats sous un système d'information géographique (SIG), nous a encouragés à proposer des travaux d'aménagement antiérosifs techniques (correction torrentielle) et biologiques (reboisement), visant à atténuer les effets négatifs des pertes en terre aussi bien à l'amont qu'à l'aval. Le choix des ouvrages et les décisions à prendre doivent être fondés sur l'action des facteurs biophysiques et anthropiques. Par ailleurs, ces travaux doivent s'intégrer dans une nouvelle stratégie visant une meilleure gestion de l'espace dans une optique de développement durable, en tenant compte des besoins et des perspectives de la population rurale.

Mots-clés : Algérie, Erosion hydrique, SIG, Plan d'aménagement, ressource en eau.

Abstract

Located in Northwest Algeria, the watershed of Isser is an ecosystem weakened by drought episodes and strongly sensitive to water erosion.

Erosive phenomenon, in this ecosystem, is the result of a combination of several factors: aggressiveness of the rains; erodibility of the soils (marls); stiffness of the relief, weakness of the vegetal cover.

Localising the gullied zones and specifying the climatic and hydric characteristics of the study zone are prerequisites to the development of any sustainable erosion control strategy.

The overlaying of a series of thematic maps, fed into a Geographical Information system (GIS), has led to the design of a map localising the gullied zones in the watershed requiring restoration works, first and foremost. The antierosive operations suggested include technical measures (torrential corrections) as well as biological measures (reforestation).

Such erosion control measures should however be integrated into a program whose main objectives should be a better management of water and soil resources taking into account the expectations and needs of the rural population

Keywords: Algeria, water erosion, GIS, planning, water resources.

Introduction

Le problème de l'érosion, de la conservation de l'eau et de la fertilité des sols est très ancien puisque bien des civilisations ont disparu du fait des interventions maladroites de l'homme sur les ressources en eau et en sols. C'est aussi une problématique très moderne en Algérie car elle s'inscrit dans la perspective du développement durable.

Les zones de montagnes en Algérie présentent aujourd'hui un enjeu socio-économique important. Elles sont les plus vulnérables au phénomène de l'érosion hydrique et les relations entre les ressources naturelles (végétation, sol et eau) sont largement perturbées.

La dégradation du sol, support du développement des couverts forestiers et agricoles, a par ailleurs un impact majeur sur la pollution diffuse dans les cours d'eau, sur l'envasement des barrages et sur les infrastructures hydrauliques. En effet, en Algérie, quelques 120 millions de tonnes de sédiments, en moyenne, sont emportés annuellement par les eaux. Les pertes annuelles en capacité de stockage des eaux dans les barrages sont estimées à environ 20 millions de m³ dues à l'envasement [11].

L'apport des aménagements agro sylvo pastoraux dans les bassins versants où la dégradation des sols et les risques d'érosion sont les plus intenses aura d'autant plus d'efficacité que les facteurs du milieu naturel sont bien connus étant donné qu'ils constituent les fondements de l'aménagement du territoire.

Or, les problèmes de dégradation des ressources naturelles ne se posent pas avec la même acuité dans les différentes parties de la zone. C'est pourquoi il est utile de délimiter des zones dont l'aménagement est plus urgent que les autres, appelées zones prioritaires. C'est un exercice délicat mais très important car les décideurs recherchent ces données avant tout projet d'aménagement.

Plusieurs paramètres tels que la lithologie, les pentes et le couvert végétal doivent être hiérarchisés et analysés. Leur traitement par la méthode classique (Equation USLE (universal soil loss equation) de Wischmeier est long et souvent peu précis.

Dans ce travail, nous avons voulu tester une démarche méthodologique simple, basée sur l'intégration et le traitement des données par les procédures de superposition des SIG. Il en découle la production d'une carte faisant ressortir des zones homogènes d'intervention par ordre de priorité.

Cependant, l'apport de ces techniques aux territoires traités n'aura de consistance qu'en utilisant des données saisies en stations d'observation permettant une validation des informations de synthèse obtenues par les SIG. L'intervention dans ces zones permettrait d'apporter des corrections aux aires où la dégradation des sols et les risques d'érosion sont les plus intenses afin de promouvoir le développement durable.

Présentation du milieu

Située au nord du grand bassin versant de l' Isser, à l'est de la wilaya de Tlemcen, la zone d'étude est composée de deux sous- bassins versants (SBV) : Sidi Ahmed Chérif et Sidi Bounakhla Hériz , d'une superficie globale de 2 060 hectares. (*figure 1*). La région est caractérisée par :

- Un climat de type méditerranéen semi-aride avec des pluies annuelles qui varient de 280 mm à 500 mm. Ces pluies sont déterminées par une irrégularité spatio-

temporelle et par un régime de courte durée et à forte intensité (l'intensité maximale peut atteindre 84 mm/h durant 30 mn).

- Un relief très escarpé et fortement disséqué, ayant souvent de fortes pentes et un réseau de drainage très dense.

- Une lithologie définie par des roches en majorité tendres (marnes et grés tendre) ce qui prédispose ces zones aux différents processus d'érosion.

- Des formations végétales très dégradées, caractérisées par de faibles densités de recouvrement et de mauvaises conditions de régénération.

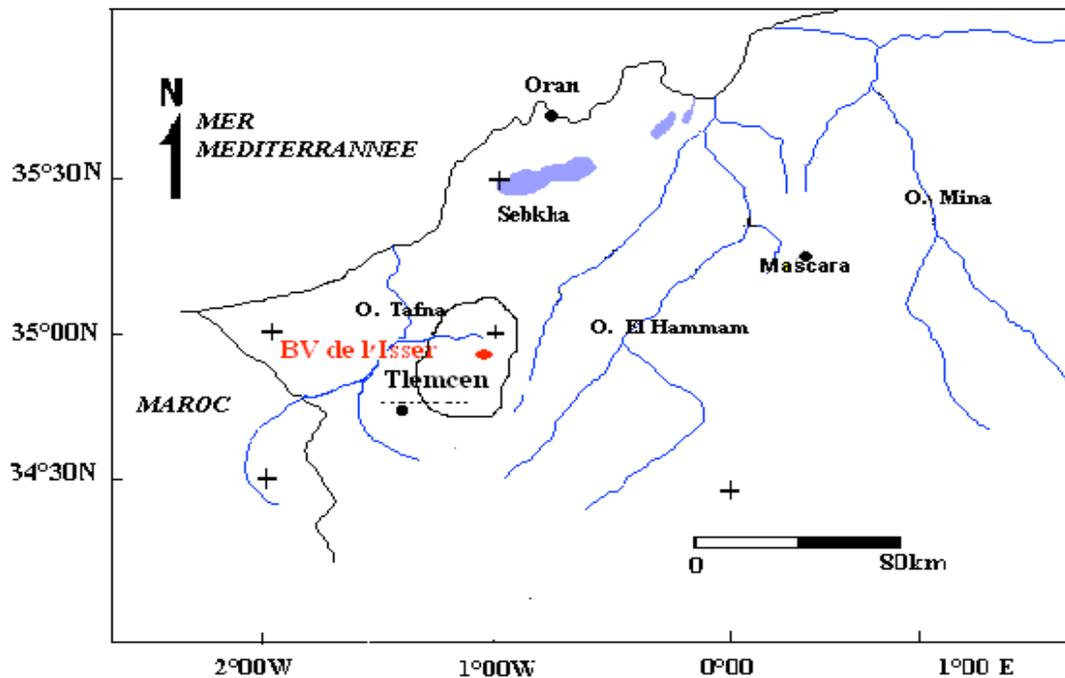


Figure 1. Carte de situation de la zone d'étude.

L'approche méthodologique

Elle repose sur le croisement des cartes thématiques réalisé à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) qui offre la possibilité de croiser les différentes caractéristiques, physiques et agronomiques des parcelles selon une démarche méthodologique comprenant deux étapes:

- l'élaboration des cartes thématiques ;
- le croisement des cartes thématiques

Elaboration des cartes thématiques, de synthèse et d'intervention

• Lithologie

Les sols des (SBV) sont bruns calcaires argileux. La lithologie est caractérisée essentiellement par des marnes du miocène moyen (Helvétien) [2] et des alluvions quaternaires (Rharbien et Holocène) (*figure 2*). Les sols marneux lorsqu'ils sont secs, restent non érodibles mais, dès qu'ils atteignent une certaine humidité, leur sensibilité à la détachabilité et au ruissellement augmente [3].

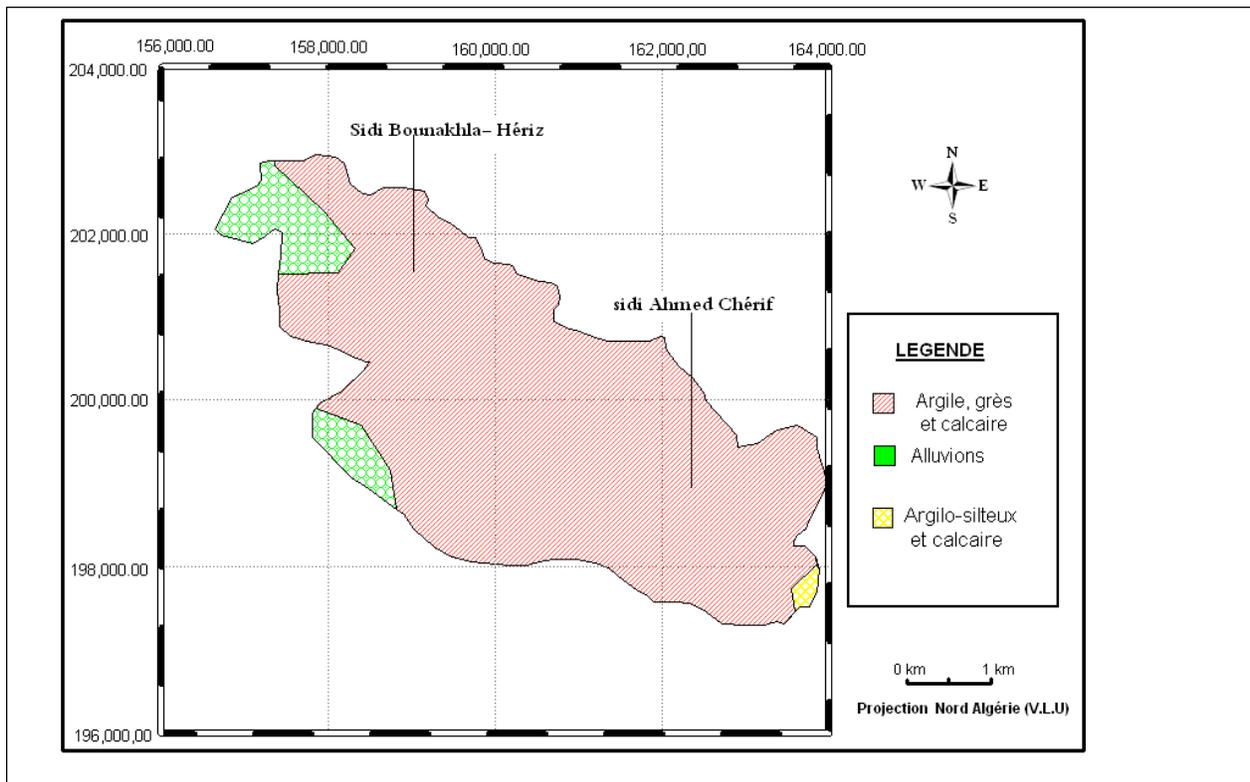


Figure 2. Carte lithologique des deux Sous Bassins V).

Cette carte nous montre que la majeure partie des micros bassins est constituée de marnes, substrat très sensible à l'érosion, d'autant plus qu'il repose sur des bancs de grès. D'autre part, la dominance et l'importance des alternances de marnes et grès classées en formation meuble, en pente augmentent les potentialités érosives du bassin.

• Topographie

La carte des classes de pente (*figure 3*), montre que les pentes les plus abruptes, très fortes à fortes, se concentrent dans les parties nord-ouest et sud des SBV. Elles sont caractérisées par un relief accidenté. Les pentes modérées ainsi que les pentes

faibles à très faibles sont réparties sur l'ensemble des SBV. Des études antérieures [8] et [10] ont montré que l'érosion devient active sur des pentes supérieures à 3 %.

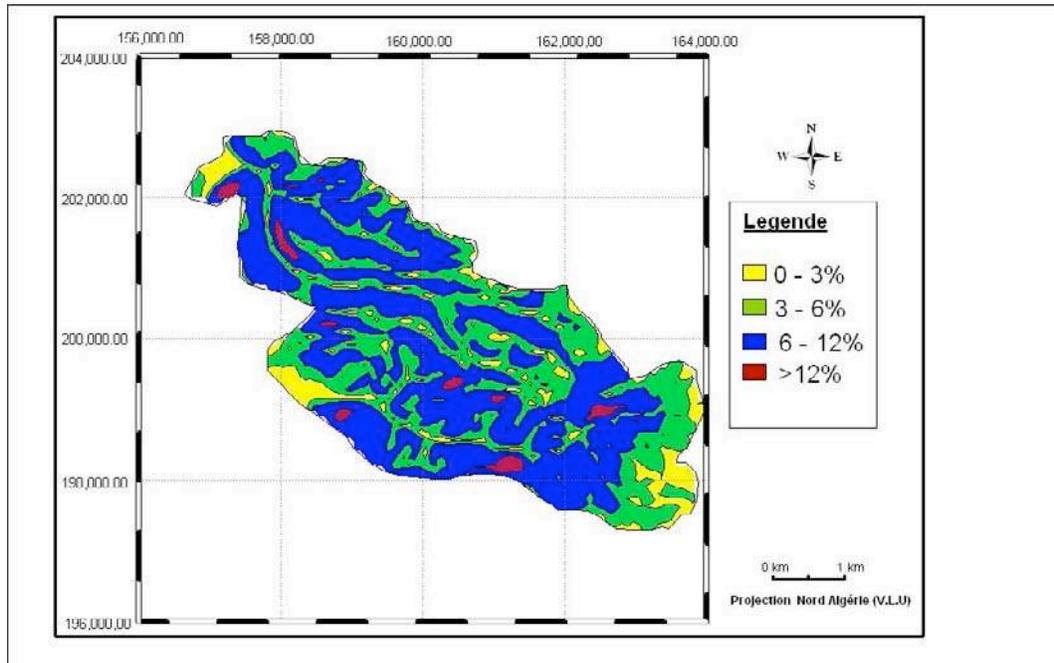


Figure 3. Carte des pentes des 2 SBV.

• Couvert végétal

Les terres des sous bassins versants sont pour la plus part des terrains agricoles. La carte d'occupation du sol laisse apparaître quatre classes de couverture végétale (figure 4) :

- couvert végétal non protecteur ;
- couvert végétal peu protecteur ;
- couvert végétal moyennement protecteur ;
- couvert végétal protecteur.

Le couvert végétal non protecteur correspond aux sols entièrement dénudés et non cultivés (bad lands, pistes...).

Le couvert végétal peu protecteur comprend les cultures annuelles (céréales, agriculture extensive)

Le couvert végétal moyennement protecteur appréhende les cultures intensives pratiquées souvent selon les techniques de conservation de l'eau et du sol (CES).

Le couvert végétal protecteur comprend quelques espèces pérennes : *Chamaerops humilis* ; *Asparagus stipularis* ; *Lycium europoeum* ainsi qu'une végétation dégradée (Doum, jujubier).

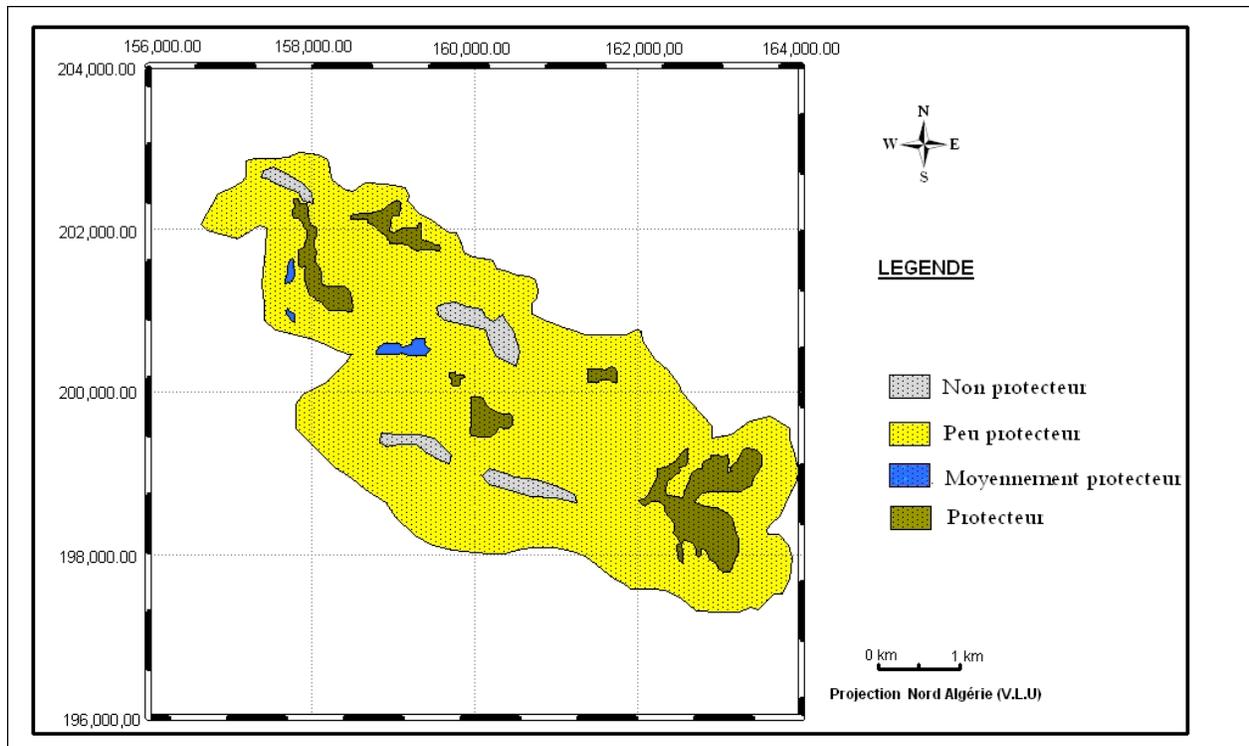


Figure 4. Carte de végétation des deux SBV.

• **Carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique**

La carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique est obtenue par le croisement de la carte d'occupation du sol, la carte lithologique et la carte des pentes. Le résultat du croisement met en évidence quatre classes de sensibilité des sols (*figure 5*) :

- classe 1 : sensibilité très forte à l'érosion ;
- classe 2 : sensibilité forte à l'érosion ;
- classe 3 : sensibilité moyenne à l'érosion ;
- classe 4 : sensibilité faible à l'érosion.

Près de 85 % des sols présentent une forte sensibilité à l'érosion hydrique.

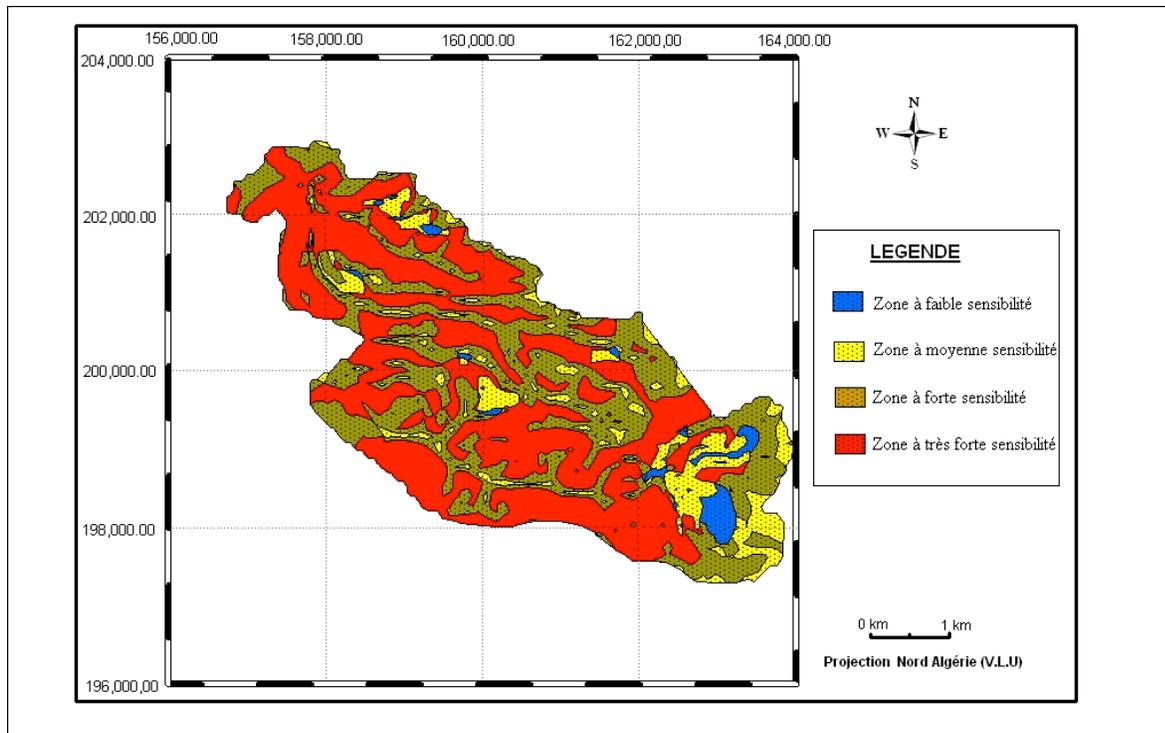


Figure 5. Carte de sensibilité des terres à l'érosion hydrique.

- **Localisation des zones ravinées et priorités d'interventions**

La carte de localisation des zones fortement ravinées (*figure 6*) résulte de la superposition de la carte du réseau hydrographique (*figure 7*) sur la carte de sensibilité des sols. L'ordre d'intervention prioritaire y apparaît. Les zones très sensibles correspondent aux zones de ravinement. Elles affectent la presque totalité de la zone d'étude ce qui reflète l'état actuel de dégradation des sous bassins versants.

- **Validation du modèle**

Après intégration des résultats par sous bassin versant, nous avons comparé les valeurs de l'érosion estimée par les informations de synthèse obtenues grâce aux SIG à celles mesurées en parcelles sur le terrain. Cette dernière qui traduit le mieux la réalité doit valider les résultats estimés par les SIG. Il est toujours très difficile d'obtenir au départ une bonne corrélation mais la connaissance des différents paramètres du terrain (exposition des versants, longueur de pente ...) permet de mieux appréhender l'érosion par ces systèmes d'information géographique et donner une meilleure efficacité des modèles [14]. Le SIG apporte une appréciation spatiale de l'érosion que les mesures habituelles ont du mal à fournir. En plus, les degrés de sensibilité de l'érosion sont assez bien perçus. Ainsi, les systèmes utilisés décrivent beaucoup mieux l'érosion que ce qu'on peut observer sur le terrain.

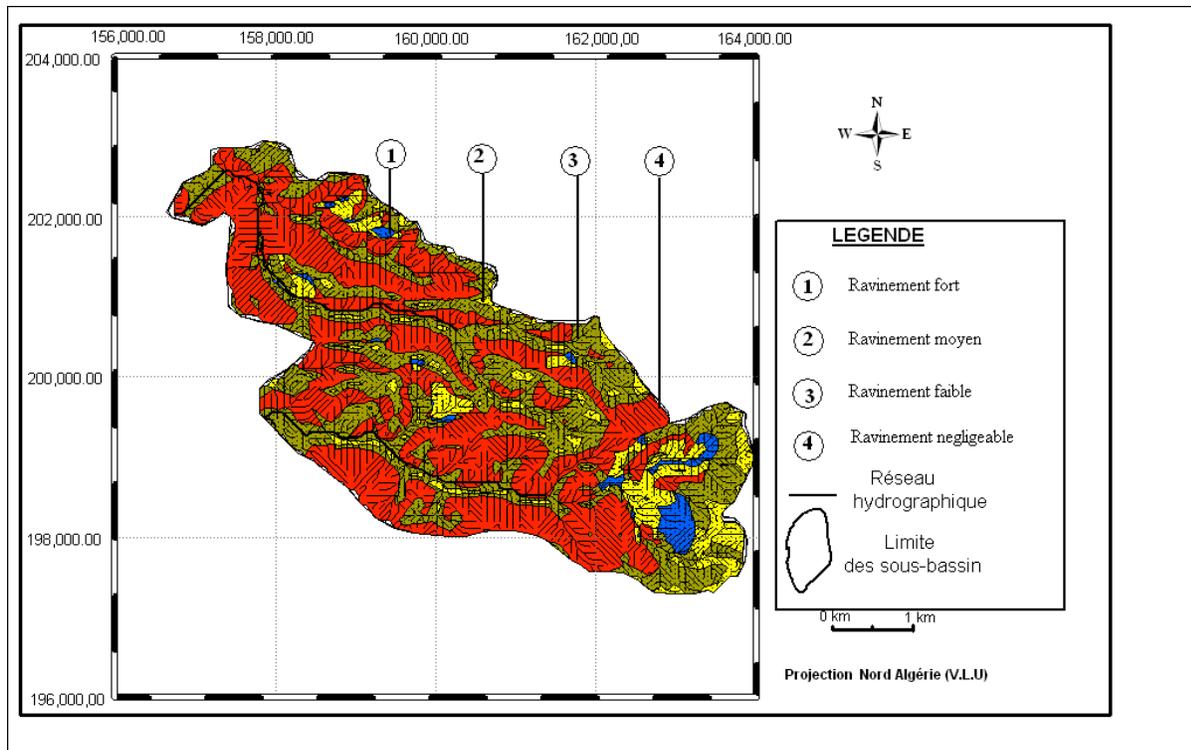


Figure 6. Carte de localisation des zones fortement ravinées.

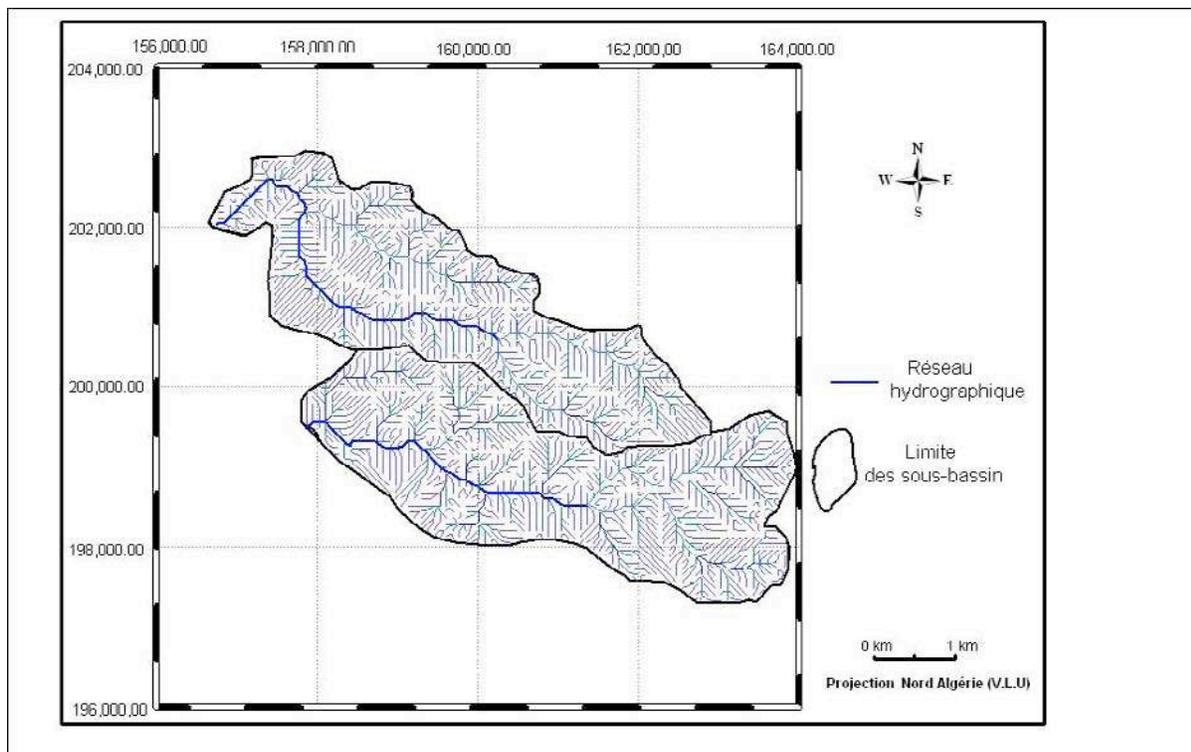


Figure 7. Carte du réseau hydrographique.

L'exploitation des cartes de sensibilité à l'érosion issues du SIG

Il est important de souligner l'apport de la cartographie issue des systèmes d'information aux questions d'aménagement antiérosifs des bassins versants. Ce dernier est appréhendé dans son ensemble en dégagant assez facilement les ensembles homogènes à traiter prioritairement et en évaluant les interactions avec les autres ensembles et sous ensembles.

Le listing des aménagements à préconiser est long, il faut néanmoins choisir les plus adaptés au terrain, les plus efficaces et les moins coûteux. Il faut intégrer le plus possible les aménagements traditionnels et accorder une importance particulière aux traitements biologiques. Il est évident que le traitement du ravinement peut faire appel à certains ouvrages mécaniques qui exigent une technicité assez élevée, mais les traitements au niveau des versants cultivés sont eux aussi à faire avec le plus grand soin notamment le choix des techniques culturales appropriées, des systèmes d'utilisation des terres et des assolements bien choisis.

• Aménagement des ravines

Les buts de cette opération sont de :

- diminuer l'activité de l'érosion linéaire (ravinement) qui connaît une évolution dangereuse.
- protéger le barrage El Izdihar (Sidi Abdelli – Tlemcen) contre un envasement accéléré.
- réduire les risques de glissements et d'éboulements qui menacent continuellement les routes ainsi que le Village de Sidi Abdelli.

Vu la nature marneuse des terrains de la région, les types d'ouvrages préconisés pour l'aménagement hydraulique des ravins sont des seuils en terre. Ils pourraient permettre une bonne stabilisation des ravines en terrain marneux et une bonne reprise de la végétation si seulement leur dimensionnement et leur réalisation se font correctement.

Les sédiments captés par les seuils risquent d'être remis en suspension et de continuer leur cheminement s'ils ne sont pas fixés rapidement, [4]. Les espèces à fort enracinement et à fort pouvoir recouvrant sont envisagées ; leur rôle est d'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et de dissiper l'énergie du ruissellement et sa capacité de transport. L'eau stockée dans les sédiments peut être utilisée par des plantations d'espèces à développement racinaire dense et profond pour fixer le fond et les berges des ravines. Ces espèces doivent être économiquement valorisantes, afin de retenir l'intérêt des paysans qui auront par la suite la charge de les entretenir.

• Plantations fruitières

Comme l'arboriculture rustique répond positivement aux vœux de la population riveraine et joue un rôle efficace contre la dégradation des sols tout en apportant un revenu à la population locale, certains versants ont été choisis pour la plantation de l'*Olivier*, l'*Amandier* et le *Figuier*.

L'introduction d'arbres fruitiers est recommandée. Ils jouent un rôle de protection du

sol contre l'érosion, et contribuent à l'amélioration des revenus des agriculteurs pour écarter le risque d'abandon des terres par les jeunes générations en l'absence de perspectives dans leur métier

Le choix des essences fruitières doit se faire en fonction des exigences agroclimatiques des espèces et des vœux des riverains et des possibilités de valorisation des produits.

• Amélioration des systèmes de production

Actuellement, en Algérie où les terres font l'objet de modification majeure d'usage des sols et de reconversion, les grands projets nationaux de développement rural s'appuient sur la logique de la GCES, celle du développement rural avec la participation des communautés rurales [12] : les plantations arboricoles, l'amélioration des techniques culturales et de la gestion de l'eau. L'agroforesterie et les parcours réglementés sont des actions à développer. L'efficacité des techniques culturales est strictement liée aux conditions économiques des sociétés [13].

Les solutions éventuelles pour freiner la dégradation des terres se situeraient surtout dans l'amélioration de la gestion de l'eau, facteur limitant, (billons, cuvettes, madjen/mares, retenues collinaires, couverture du sol par les résidus de récolte), et de la production de la biomasse des sols (intensification et diversification des productions, arboriculture, agroforesterie, cultures couvrantes et gestion des parcours) avec le renforcement des techniques anti-érosives (aménagement biologiques et mécanique des ravines et des versants : seuils, cordons en pierres, plantation en courbes de niveau, barrages semi perméables).

La vraie solution consisterait à modifier en partie le système de production pour rétablir un équilibre dans le paysage. Cela prend du temps (5 à 10 ans) mais c'est plus efficace, plus durable et plus profitable pour les paysans.

Conclusion

Le bassin versant de l'Isser rencontre d'énormes problèmes liés à l'érosion hydrique qui ravine les terrains marneux d'une manière spectaculaire et entraîne la perte des terres arables. Le ravinement résulte de la conjonction de différents facteurs : nature du substrat, raideur du relief, faiblesse du couvert végétal...

L'évaluation des risques d'érosion des sols du bassin versant a nécessité la cartographie et l'analyse des facteurs déterminants de l'érosion. Ces derniers interviennent à des degrés différents dans les processus d'érosion [5] ; [6] et [9].

La complexité et l'interdépendance de ces paramètres se prêtent très bien à une analyse par croisements successifs de thèmes deux à deux. Elle permet aussi de mieux approcher et apprécier la sensibilité à l'érosion des différentes unités de la région. Les valeurs de l'érosion réellement observée sur le terrain, sont toujours prévues par les systèmes d'information géographiques, par contre, les degrés de sensibilité ne sont pas les mêmes. Ainsi, les systèmes utilisés décrivent beaucoup plus d'érosion qu'on a pu en observer sur le terrain.

Tout cela nous conduit à penser que la détermination exacte des zones ravinées est encore un objet de discussion qui varie suivant le nombre de facteurs retenus. L'importance de chacun de ces facteurs doit être testée par des expérimentations sur le terrain à l'aide de simulateurs de pluies ou de parcelles d'érosion de plus de 100m².

Dans presque tous les cas de détermination de l'érosion hydrique, on associe les images satellitaires et les photographies aériennes avec des relevés de terrain. Ces deux sources d'information se complètent. En effet, lors de l'élaboration des cartes, il y a des erreurs spatiales qui s'additionnent [1]. Il est donc indispensable d'y associer des études de terrain pour l'initiation des systèmes et leur validation.

Si les SIG nous autorisent une mise à jour régulière, ils ne nous permettent pas, par contre, de déterminer certaines propriétés telles que l'infiltrabilité, la cohésion des sols et la stabilité structurale.

Références bibliographiques

1. Bonn F. 1998. La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG : possibilité, erreurs et limites. *Sécheresse*. 9, 3 : 185 - 192.
2. Centro Studi Ricerche. 1974. Étude des bassins-versants des Oueds Isser et Sikkak. Alger : Secrétariat d'État aux forêts (SEFOR) : 3 volumes, 640 p.
3. Chebbani R., Djilli K. et Roose E., 1999. Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser, Algérie. *Bulletin du Réseau Erosion* 19 : 85-95.
4. Combes F. 1992. Les plantations RTM. *Bull Réseau Érosion*. 12: 52-6.
5. Lenthe H. R., Krone F., 1981. Soil erosion losses on various geological deposits ecological land survey in key areas of Cyprus. *Pedology*. Part C. 40p.
6. Luken H., Krone F., 1989. Calcareous soils of Cyprus: five years erosion measurements (1981- 1996). *Pedology, hydrochemistry and non metallic mineral resources*. 5 : 17 p.
7. Mazour M., Roose E., 2002. Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans les bassins versants du Nord-ouest de l'Algérie. *Bull. Réseau Erosion* 21 : 320 - 330.
8. Mollenhauer, K., 1980. Land use in water protection areas. In: De Boodt M, Gabriels D, eds. "Assessment of erosion". New York : John Wiley et Sons: 271-284.
9. Morgan R., 1986. Soil erosion & conservation. In: D-A: Davidson. Editor. John Wiley and sons Inc. 253p.
10. PNUE/PAM/PAP. 2000 : Directives pour la gestion de programmes de contrôle d'érosion et de désertification, plus particulièrement destinées aux zones côtières méditerranéennes. Split, Programme d'actions prioritaires.
11. Remini B., 2000 .L'envasement des barrages. *Bull Réseau Erosion* 20 : 165 - 171.
12. Roose E., 2004. Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Sécheresse* 15, 1 : 9-18.
13. Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull Pédol FAO* (Rome) 70 : 420 p.
14. Sadiki A. et al., 2004. Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'équation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, 26 : 69-79.

Estimation du risque d'érosion dans un bassin-versant agro-sylvicole, Province de Phu Tho (Nord Vietnam)

Thiet NGUYEN VAN (1), Simon POMEL (2) et Ha PHAM QUANG (1)

(1) Institute for Agriculture Environment Phu Do-Me Tri-Tu Liem -Hanoi (Vietnam)

thietnisf@yahoo.com - haphamquang@fpt.vn

(2) UMR 5185 ADES, Maison des Suds, 12 Esplanade des Antilles 35607 PESSAC Cedex (France) spomel@ades.cnrs.fr

Résumé

L'étude de l'érosion est une nécessité pour le Vietnam, comme pour tous les pays. Indépendamment des facteurs physiques (climat, topographie et caractéristiques du sol), les pratiques culturelles et la sylviculture sont importantes dans le processus. Ceci explique en partie, les différences qui existent entre les taux d'érosion estimés dans le district de Doan Hung. La croissance démographique et économique a poussé les hommes à étendre le défrichement des terres fragiles, comme les terres de pente, pour compenser la réduction des terres cultivables. Ces pratiques sont hautement érosives et alimentent la spirale de la dégradation des sols et des eaux au Vietnam, dont 75% sont montagneux. Situé en bordure du croissant de hautes terres qui encadrent le delta du fleuve Rouge, le district de Doan Hung est en majeure partie montagneux et forestier.

Le but de l'étude était de réaliser différentes cartes : pentes, usages des sols, risques d'érosion. Ces documents sont un préalable à la protection environnementale et à la planification de l'utilisation durable des sols. À partir de l'étude des états de surface des sols sous différents usages, des estimations de l'érosion spécifique ont été effectuées dans un bassin-versant expérimental supposé représentatif de la zone d'étude. Les pratiques d'exploitation de bois dans le bassin versant sont aussi évaluées en terme de risques d'érosion. La validation de la méthode des états de surface par la comparaison avec les mesures des stations hydrologiques n'est pas satisfaisante. Cependant la méthode des états de surface permet d'estimer les taux d'érosion dans le compartiment amont de la catena (zone de départ) et convient donc très bien à évaluer les risques d'érosion.

Les taux d'érosion sont en général assez bas sur la carte :

- très faibles sous forêt secondaire dense et cultures en terrasses (<1 t/ha/an) ;
- de 1 à 5 t/ha/an sous théiers, caféiers, co-plantation d'arbres avec haricots, soja et arachide ;
- de 5 à 20 t/ha/an sous la plantation forestière (*Acacia*, *Eucalyptus*,...) ;
- de 20 à 40 t/ha/an sous plantation annuelle (maïs, manioc, soja,...), mais peuvent dépasser 40 t/ha/an.

Mots-clés : Vietnam, risques d'érosion, états de surface, bassin versant, utilisation des terres, pentes

Assessment of the erosion risk in an agro-forestry watershed, Phu Tho province (North Vietnam)

Abstract

The soils in Vietnam are very fragile. Regardless of the physical factors (climate, topography and soil characteristics), the sloping lands and the mountains are often used for agricultural practices, forestry or pasture, increasing largely the risk of erosion. Indeed the population and economic growth has pushed the inhabitants to extend the clearing of fragile lands, such as sloping lands to compensate the reduction of farmland in the flat zones. These practices are highly erosive and feed the spiral of land degradation and water in Vietnam, country of which 75% is mountainous. This study has been located in the District of Doan Hung, on the edge of the crescent of high land that border the Red River Delta, to illustrate the erosion risk due to the land use of the mountainous areas. Doan Hung district is largely mountainous and forested.

The methodology used was to perform different maps: slope and land use maps to estimate a map of erosion risks. These documents are a prerequisite for environmental protection and planning of

sustainable land use. From the study of surface soils under different uses, estimates of the specific erosion have been conducted in a watershed assumed to be representative of the experimental study area. The practice of logging in the watershed are also evaluated in terms of erosion risk. The validation of the method of surface states by comparison with measurements of hydrological stations is not significant. However, the method of surface states to estimate the rate of erosion in the upstream compartment of the catena (departure area) and is therefore well to assess the risk of erosion.

The risks in term of erosion rates are generally:

- very low in dense secondary forest and terraced fields (<1 t / ha / year)
- 1 to 5 t / ha / year in tea, coffee, co-tree planting beans, soybeans and peanuts
- 5 to 20 t / ha / year under the forest plantation (Acacia, Eucalyptus, ...)
- 20 to 40 t / ha / year in annual planting (corn , cassava, soy ...), but can exceed 40 t / ha / year.

Keywords : Vietnam, Erosion risk, Surface states, Watershed, Land use, Slopes

1. Introduction

Plus de 600 millions de personnes vivent de l'agriculture itinérante dans le monde. Cette pratique consiste à créer une clairière par abattage des arbres, à brûler la végétation et à semer ensuite la parcelle ainsi défrichée. En moyenne, après trois ou quatre années de culture, les sols sont épuisés et l'agriculteur est contraint de déboiser une autre zone. Environ quatre décennies sont nécessaires entre deux défrichements consécutifs pour permettre à la forêt de se régénérer [BETEILLE, 2000], dans un contexte de gestion durable de la forêt. Les usages inappropriés des sols sont reconnus depuis longtemps comme la cause principale des problèmes d'érosion [ECHOLMS, 1997]. L'érosion est la première origine des baisses de rendements dans les systèmes de production des pays en développement [ECKHOLMS, 1997]. Chaque année, l'érosion rend improductifs 20 millions d'hectares dans le monde [UNEP, 1991]. Tous les ans, 75 milliards de tonnes de sol sont érodés sur des terres agricoles. L'érosion des sols est très importante en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud, atteignant 30 à 40 t/ha/an (BARROW, 1991).

Au Vietnam, pays couvert de collines et de montagnes au 2/3, 13 millions d'hectares soit 40% du territoire sont affectés par l'érosion des sols (VALENTIN, 1999). Dans ce pays, l'environnement subit, depuis plusieurs années, de sérieuses dégradations, particulièrement en ce qui concerne la qualité de l'eau et des sols. La croissance démographique s'accompagnant d'un accroissement des besoins, cela a poussé les hommes à étendre les défrichements sur des terres fragiles comme les terres de pente, pour compenser la réduction des terres cultivables, avec des conséquences sur tout le réseau hydrographique. En aval des versants, les populations, souvent pauvres, sont victimes de nombreuses inondations et glissements de terrain.

Ce texte se propose de participer à l'étude des risques d'érosion dans différents usages sur pente dans un bassin-versant au Nord Vietnam, afin de développer la cartographie multiscalaire des états de surface.

2. Matériel et méthode

2.1. Matériel

L'action est basée sur les données accumulées à l'Institut for Agriculture Environment (IAE) de Hanoi au Vietnam. Les données de télédétection (image aérienne du 07 mai 2000) ont été fournies par l'Office Général de la Cartographie – Ministère des Ressources Naturelle et de l'Environnement du Vietnam. Les cartes (carte topographique, carte des usages, carte du réseau hydrographique...) utilisent la couverture végétale et les pratiques culturales. Les photos au sol ont été réalisées durant des missions sur le terrain. Les missions ont été réalisées au début et à la fin de la saison de mousson. Les images ont été analysées sur le logiciel Optilab Pro 2.6.3 au Laboratoire Environnement Tropical - ADES – CNRS de l'Université de Bordeaux 3.

2.2. Méthode

2.2.1. Les états de surface des sols

Les états de surface des sols représentent une mémoire immédiate des sols (VALENTIN, 1999 ; POMEL, 2008). La surveillance de ces surfaces élémentaires permet d'étudier la fixation et la déstabilisation des sols et de mesurer l'érosion. La surface des sols est occupée par une mosaïque d'états qui traduisent le fonctionnement aux échelles spatio-temporelles élémentaires (POMEL, 2004 et 2008). Ces instantanés du sol enregistrent les déstabilisations du sol, assurent aussi une fonction de fixation des paysages et sont indicateurs des types de gestion. Le PICS franco-allemand du CNRS n° 521 entre 1997 et 2000 a permis d'établir que l'érosion est estimable à partir des états de surface (POMEL, 2004 et 2008). Photographies au sol, mesures de l'épaisseur de la perte en sol par an dans les différentes formations et calculs de surface à partir d'une analyse d'images sont la base de la méthode. L'érosion est quelquefois contrebalancée par les apports en litière et une redéposition des particules fines (POMEL, 2003) ou par la remontée de terre par les vers et autres animaux fouisseurs.

À partir de la cartographie des états de surface des sols et du suivi de la perte en terre mesurée chaque année sur des parcelles définies en fonction de la végétation et des usages du sol, une cartographie est établie aux différentes échelles d'observation, centimétrique à métrique à partir d'images au sol, décimétrique à partir d'une couverture aérienne et satellitaire. L'étude de l'érosion à la surface du sol est privilégiée, en particulier le rôle des litières s'avère très important. Les états de surface des sols sont des concentrations de matériel par des processus phytiques, biologiques, minéralogiques, hydriques ou érosifs. On distingue cinq types (POMEL, 2004 et 2008).

- Les « **bioconcentrations** » (ou concentrations biologiques) par la microflore et la microfaune jouent un rôle fondamental dans la décomposition de la matière organique.
- Les « **duriconcentrations** » (ou concentrations minéralogiques) procèdent de processus minéralogiques avec formation de croûtes salées, sulfatées, carbonatées, ferrugineuses ou siliceuses.
- Les « **satuconcentrations** » (ou concentrations en turbides) sont des concentrations hydriques d'argiles et de limons.
- Les « **abruconcentrations** » (ou concentrations par érosion) se définissent par un amaigrissement de la surface du sol en éléments fins et par une concentration relative des éléments grossiers.
- Les « **phytoconcentrations** » (ou concentrations végétales) procèdent de nécroses végétales, les thanato- ou rhizo-concentrations.

2.2.2. L'érosion spécifique des zones de départ

Les observations portent sur un suivi des états de surface, avec des mesures au sol et à partir de photographies aériennes, et un suivi de chaque formation végétale et d'usages, avec une moyenne de 20 mesures. Le calcul est effectué à partir du % des surfaces affectées par les abruconcentrations en fonction de la densité du sol ramené à 1 hectare/an. La perte annuelle en mm est calculée à partir de l'érosion des croûtes biotiques ou du déchaussement racinaire des plantes annuelles (POMEL, 2007).

Le calcul de l'érosion spécifique : Perte annuelle en sol en t/ha/an = densité apparente du sol x % en abruconcentration x par perte annuelle en mm x 10.

3. Résultats et discussion

3.1. L'érosion dans les différents types d'usage du sol

Les systèmes bocagers, co-plantations, cultures sous couvert arboré ou arbres fruitiers sont conservatrices des sols, et les taux d'érosion y sont relativement faibles, malgré de fortes pentes. Au contraire, les monocultures (maïs et manioc) ou les plantations forestières d'*Eucalyptus* présentent des risques d'érosion importants, en particulier d'érosion linéaire.

3.1.1. Sous forêt secondaire dense

Sous forêt de feuillus l'érosion est très faible, la litière occupe la surface des sols. L'horizon supérieur du sol est fixé par la décomposition de l'humus sur plus de 10 cm.

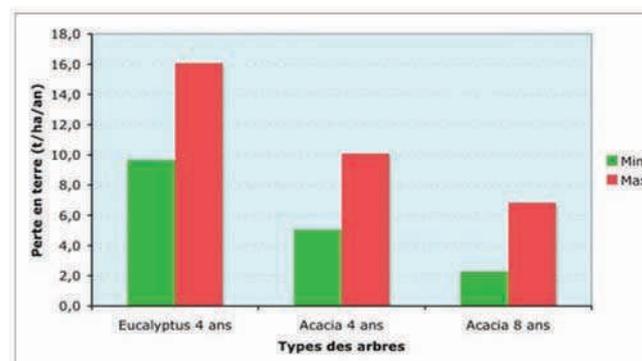


Figure 1 : Etats de surface du sol sous forêt secondaire dense

Décomposition de la litière de feuillus et développement du mycelium, de nattes algobactériennes et de polysaccharides empêchent l'érosion sous litière. Sous forêt dense, les abruconcentrations représentent 1% des surfaces, l'érosion est de moins de 1 mm/an et les taux moyens d'érosion sont de 0,13 t/ha/an.

3.1.2. Sous plantations forestières (*Eucalyptus*, *Acacia*,...)

L'usine à papier de Bai Bang est située dans la zone. La plantation forestière se caractérise par des plantations d'arbres à croissance rapide et haute en productivité de bois, il s'agit principalement d'*Acacia mangium* et d'*Eucalyptus*.



Les types d'arbres et l'âge des arbres ont un impact sur l'érosion des sols (figure 2). La figure montre que l'érosion sous la plantation d'*Eucalyptus* est plus forte que sous plantation d'*Acacia* (de 9,7 à 16,1 t/ha/an sous *Eucalyptus* et de 2,3 à 10,1 t/ha/an sous *Acacia*). On peut expliquer comme suit : sous *Eucalyptus*, la couverture des adventices de la surface du sol est faible. De plus, sous plantation d'*Eucalyptus*, la litière n'empêche pas l'érosion, car elle se décompose très lentement et ne fixe pas le sol. Cela est favorable à l'énergie de la pluie "splash" des gouttes d'eau sur la surface du sol qui est plus forte et qui entraîne une forte détachabilité du sol. Enfin, le « splash » influe directement sur le ruissellement de surface, sur l'écoulement des eaux de pluie et le transport des sédiments. La litière n'empêche pas l'érosion du fait du tassement du sol. L'érosion en nappe sous litière est liée aussi au ruissellement. Ces plantations ont été réalisées après labour ce qui explique que la litière n'ait pas été préservée et les forts taux d'érosion.

3.1.3. Les autres types d'usage du sol

Selon les sources officielles, le district de Doan Hung comprend 30 différents types d'utilisation des terres. Ils sont groupés en cinq catégories principales : agriculture, sylviculture, habitation, autres terres, terres non-utilisées. Il en est de même dans tous les systèmes de la classification d'utilisation des terres au Vietnam. Dans le bassin versant, les systèmes d'agriculture sont multifformes, ce qui a entraîné des phénomènes érosifs aussi plus compliqués (tableau 1).

Types d'usage des sols	Densité apparente du sol	Abrucconcentration (%)	Perte annuelle (mm)	Nombre de mesures	Risque d'érosion maximum (t/ha/an)
Cannelle 7 ans	1,22	29,2	3	20	10,7
Caféière	1,26	17,2	2	20	4,3
Cultures en bande avec soja	1,35	39,5	6	20	32,0
Manioc	1,35	39,5	8	20	42,7
Maïs	1,28	33,5	8	20	34,3
Plantation de théiers	1,26	3,9	5	20	2,5
Arbres fruitiers et ananas	1,22	15,5	3	20	5,7
Coplantation d'arbres avec haricots ou soja et arachide	1,25	16,3	3	20	6,1

Tableau 1 : Mesures de l'érosion dans les zones cultivées (érosion spécifique en t/ha/an dans les zones de départ) à partir des états de surface des sols.

Le tableau 1 montre que les risques d'érosion sous plantation de théiers et caféiers sont faibles (moins de 5 t/ha/an maximum). À partir de la couverture végétale, il apparaît ici clairement qu'avec un couvert déjà important, les taux de ruissellement dans les parcelles de plantation de théiers et de caféiers sont peu importants. Ces couverts denses limitent considérablement le ruissellement ainsi que la perte en sol (tableau 1 et figure 3). En effet, son couvert dense qui couvre rapidement le sol, lui permet de limiter l'effet d'éclatement des gouttes de pluie. Son système racinaire est aussi celui qui est le plus dense, les agrégats y sont piégés et l'infiltration favorisée.

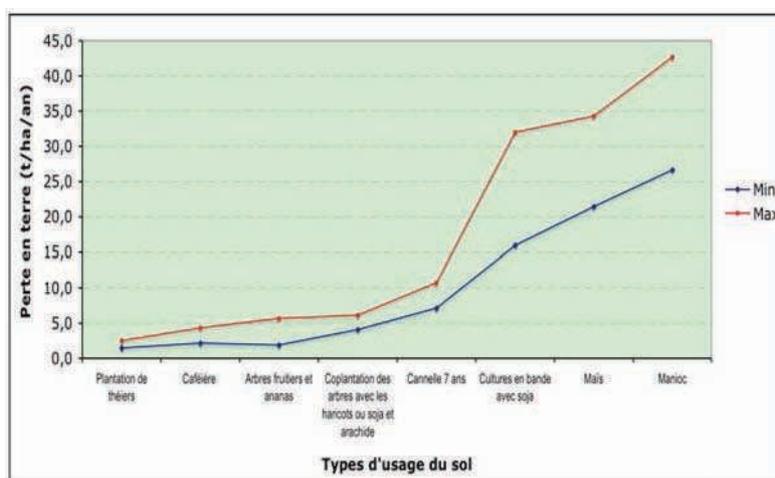


Figure 3 : Risque d'érosion sous différents types d'usage du sol

L'érosion est forte sous plantation annuelle (culture du maïs, manioc et soja ...) et peut dépasser les 42 t/ha/an, au niveau des pertes en terres, du fait d'un couvert peu important mais surtout à cause des pratiques culturales récentes, notamment durant la saison des pluies. Or, dans les zones de montagnes du Nord Vietnam où la pluviosité est forte et mal distribuée, les plantations annuelles sur pente, commencent à la fin de saison sèche jusqu'au début de la saison des pluies. Les plantations annuelles, en particulier, le manioc, avec les grosses pluies, ne limitent pas l'érosion hydrique. Enfin, au niveau des pratiques culturales, le labour sur terres en pente représente une condition favorable à l'érosion, comme on le remarque avec la culture du maïs et du soja.

En lutte antiérosive, on a développé le système de co-plantation pour les zones montagneuses. Quand les arbres de la forêt ne sont pas encore à feuillage fermé pendant la première année ou même la deuxième année, les agriculteurs plantent souvent arachide, haricots et soja. Dans les autres cas, arachide, haricots et soja sont remplacés par le riz, le manioc ou le maïs. Ces systèmes ont diminué de façon appréciable les pertes en terre, notamment dans le système co-planté à arbres fruitiers et ananas, dans le système co-plantation d'arbres avec haricots ou soja et arachide (tableau 1 et figure 3).

3.2. Le rôle de la pente

La distribution spatiale des pentes montre l'importance de cet élément dans la constitution du relief du district de Doan Hung d'après le rapport du Soils and Fertilizers Research Institute (SRFI).

Pour illustrer cet état du milieu physique, une carte des pentes à l'échelle de 1/25.000, a été réalisée. Le zonage des pentes ainsi obtenu montre que les pentes inférieures à 25 % sont très largement dominantes (figure 4).

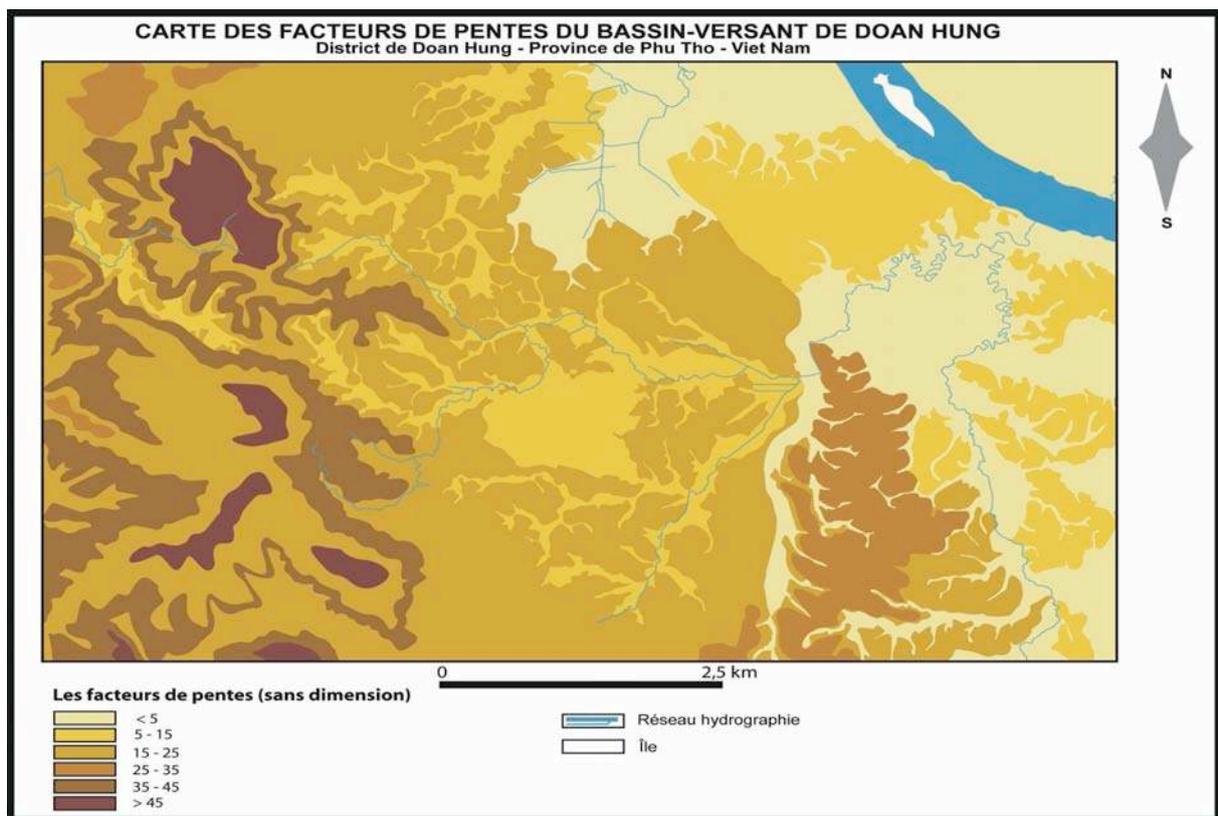


Figure 4 : Le facteur pentes dans le bassin-versant de Doan Hung

En superposant à la carte des pentes, une carte des grands types d'occupation du sol, un certain nombre d'informations ressortent :

- Les plantations annuelles (maïs, manioc,...) se situent principalement dans les zones où les classes de pente sont situées entre < 25 % et > 45 % ;
- Ces plantations correspondent à des milieux où l'occupation des sols est consacrée à l'agriculture alors que, paradoxalement, quelques parcelles de forêt se situent sur les pentes douces (< 25 % de pente), les meilleures terres (< 15 % de pente), notamment dans les fonds de vallée.

Les données chiffrées obtenues sur les parcelles de forêt et de plantation annuelle montrent également le rôle de la pente. Elles montrent qu'existe une dépendance entre les deux variables, l'érosion croissant de façon linéaire avec la pente.

Cette conclusion rejoint un certain nombre de travaux, notamment ceux de POESEN (1987), ROOSE (1981 et 1994), qui montrent que l'érosion croît avec la pente car l'énergie cinétique du

ruissellement augmente et l'emporte sur l'énergie cinétique des pluies dès que les pentes dépassent 15 %, ce qui est bien le cas dans le bassin-versant étudié.

3.3. Comparaison des méthodes d'estimation de l'érosion

Il s'agit ici de valider les résultats issus de la méthode des états de surface. Nous avons mesuré les taux d'érosion aux déversoirs W2 et W3 dans deux sous-bassins du bassin-versant. Ces mesures sont comparées à celles établies sur des parcelles d'érosion et dans les stations hydrologiques.

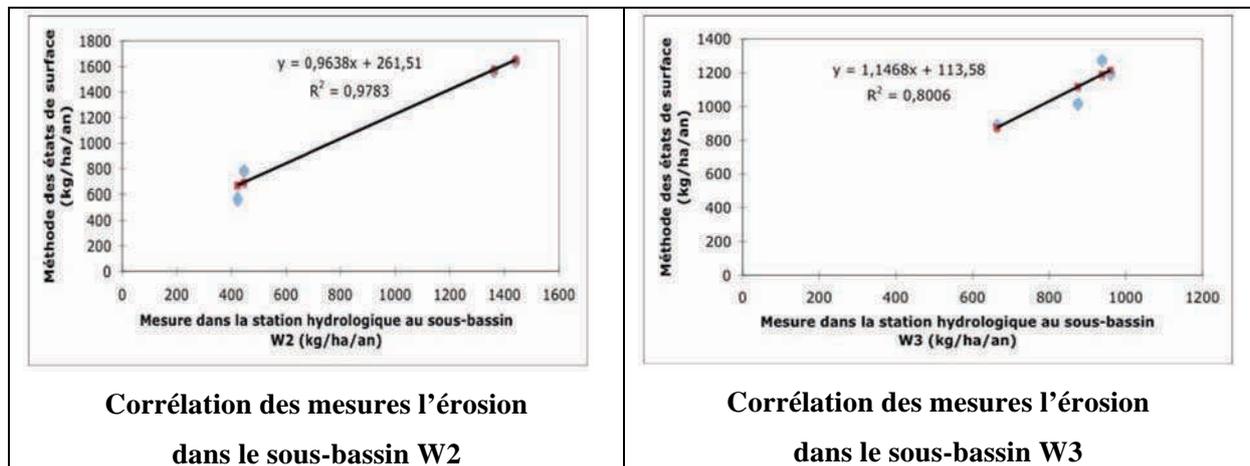


Figure 5 : Les corrélations des mesures de l'érosion dans deux sous-bassins du bassin-versant

La figure 5 montre que :

L'équation linéaire $y = ax + b$ à W2 et W3 signifie que dans les mêmes conditions (couverture végétale, sol, pluviosité, intensité de pluie, pratique culturale,...) la perte en terre estimée par la méthode des états de surface est supérieure à celle obtenue par la méthode de mesure dans la station hydrologique à l'aval de bassin-versant de 261 kg sol/ha/an à W2 et 113 kg sol/ha/an à W3.

Les deux sous-bassins représentent une bonne corrélation entre les deux méthodes, avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,98$ à W2 et $R^2 = 0,80$ à W3. Cela démontre que la méthode des états de surface est applicable et peut remplacer les méthodes de mesure de l'érosion traditionnelle pour estimer l'érosion des sols (POMEL et al., 2007). Néanmoins, le coefficient (b) dans l'équation linéaire $y = ax + b$ est un nombre positif. Dans ces conditions, il faut justifier significativement cette statistique des données de mesures du coefficient (b). Si le coefficient (b) est un nombre positif et significativement, dans ce cas la perte en terre estimée par la méthode des états de surface est supérieure à celui de la méthode de mesure dans la station hydrologique à l'aval de bassin-versant. La détachabilité du sol sur place puis le transport et la redéposition avec les barrières (racines des plantes, relief...) ne sont pas pris en compte par la méthode hydrologique.

Cette validation de l'estimation du départ de terre sur les versants comparée aux transports solides sur deux bassins-versants **n'est pas satisfaisante**. En fait, il n'y a pas de lien direct entre ces deux estimations, car les transports solides dans le bassin-versant = érosion des fines des versants + érosion des berges – les dépôts sur les versants (colluvions). Il est évident que nous sommes bien au courant que ce n'est pas la même chose, mais nous ne disposons pas d'autres données comparatives.

La méthode des états de surface mesure des taux d'érosion dans la zone de départ (amont du système), alors que la méthode de la station hydrologique mesure des taux à l'aval du système, zone d'arrivée. La méthode des états de surface convient mieux à la prévision des risques d'érosion des

sols. Elle est une base essentielle pour la cartographie des risques d'érosion. De plus, la méthode des états de surface vise principalement à la mise au point d'indicateurs de l'érosion des sols qui soient rapides et faciles à mettre en œuvre pour tous les sols et les zones d'étude. Au contraire de la méthode des états de surface, la méthode de la station hydrologique a besoin de valeurs sur le long terme et celles-ci ne sont pas exactes pour tous les cas étudiés.

3.4. Essai de cartographie des risques d'érosion des sols

La cartographie préliminaire est un essai de représentation des différents usages des sols et des risques d'érosion dans la région de Doan Hung. Elle est basée sur une couverture aérienne du 07/05/2000 et les mesures réalisées en mai 2005 dans le cadre d'un programme Vietnam du réseau Érosion de l'AUF.

Les cartes ci-dessus présentent les types d'usage des sols et l'érosion spécifique par hectare et par an. Ce sont des résultats, obtenus à l'issue du fonctionnement de la méthode des états de surface. De cette façon, la variation annuelle dans la croissance de végétation est prise en compte. Le modèle résultant consiste en une carte des types d'usage des sols dans le bassin versant (figure 6).

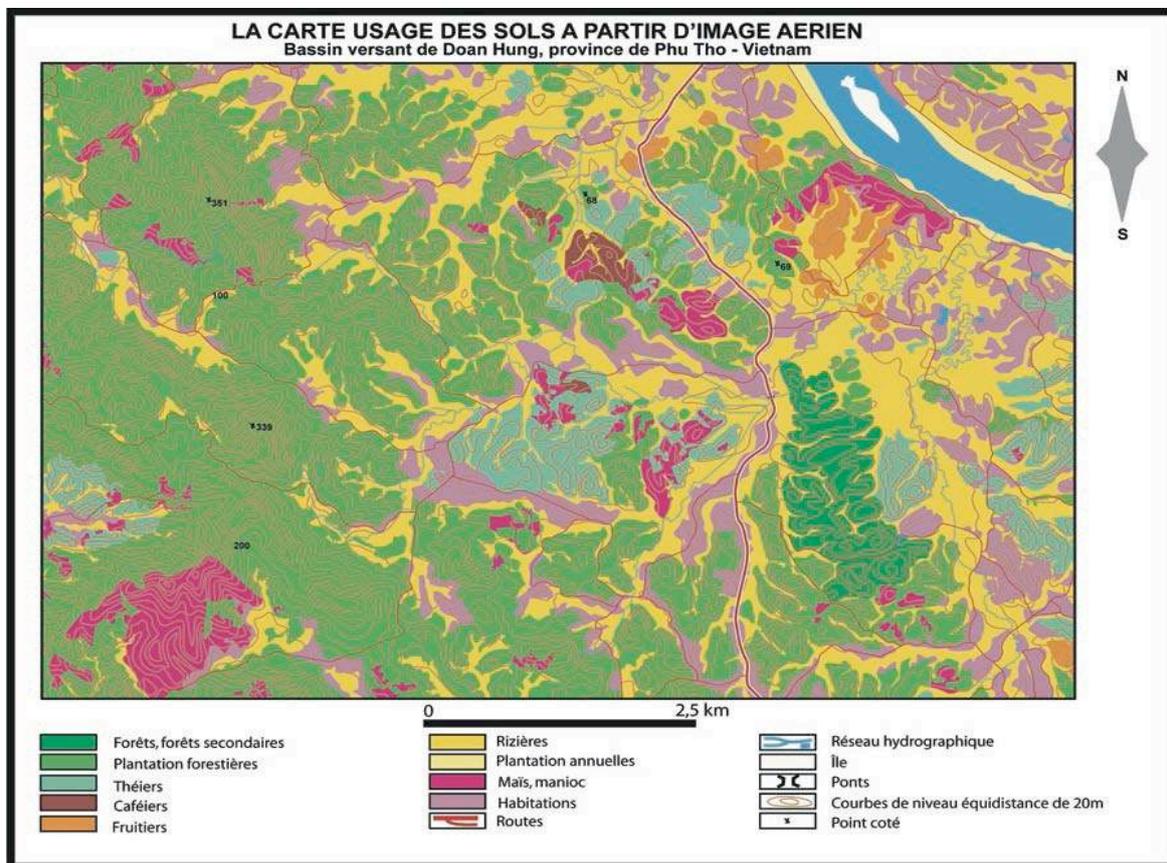


Figure 6 : Les types d'usage des sols dans le bassin versant de Doan Hung

Les taux d'érosion sont calculés à partir des états de surface des sols dans les différentes formations végétales et d'usage. Une estimation de l'actuel risque annuel d'érosion est montré sur la figure 7. La figure 7 est une carte d'érosion généralisée à tout le bassin-versant de Doan Hung. Pour améliorer son apparence visuelle, la carte a été lissée en utilisant les données d'usage des sols de l'actuel qui remplace les valeurs d'informations invalide sur l'image aérienne (07/05/2000).

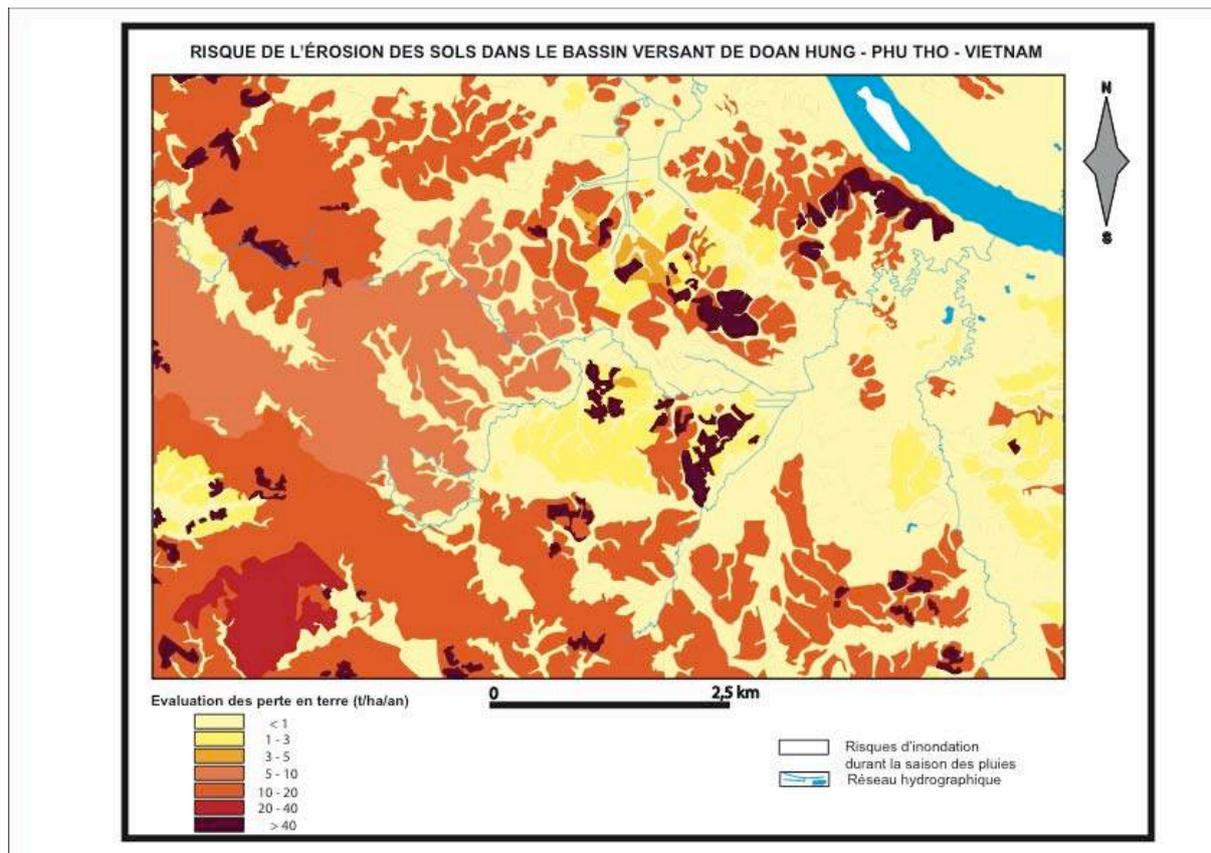


Figure 7 : Risques annuels d'érosion dans le bassin versant de Doan Hung

Une validation convenable des résultats est difficilement possible à l'échelle utilisée. Néanmoins, il est possible de faire quelques commentaires sur le motif général de la carte, pour quelques aires particulières.

Premièrement, les taux d'érosion semblent assez bas sur la carte. En général les taux d'érosion dans le bassin-versant sont inférieurs à 40 t/ha/an (figure 7). Une raison pour ces taux assez bas est la valeur du facteur de la couverture végétale. La figure 6 a montré que, dans le bassin-versant de Doan Hung, tous les terrains cultivés sont couverts par les végétaux, notamment durant la saison de pluie. Les valeurs trouvées à partir des missions sur le terrain pour ces périodes sont beaucoup plus fortes. Sur l'image aérienne, il existe des petites tâches de végétation très dense, forêt secondaire dense, forêt plantée et maquis, qui devraient montrer une plus grande réponse.

Deuxièmement, le bassin versant de Doan Hung est situé dans des zones à relief en escalier. Il y a une zone où les pentes sont moyennes et douces sur la carte des pentes (figure 4), ce qui donne un taux d'érosion en marches.

De plus, les pratiques d'exploitation du bois dans le bassin versant influencent le terrassement ou le drainage de surface. L'effet de pratiques d'exploitation du bois dans le bassin-versant est quasi-impossible à estimer ici. Cependant, il faudrait réaliser que les pratiques d'exploitation du bois peuvent être un des plus importants facteurs d'érosion.

4. Conclusion

Ce travail est dans la continuité des études précédentes menées au sein des projets AUF, qui ont permis d'acquérir un grand nombre de données, et étudier l'impact de la culture sur pente sur l'érosion.

Ce présent travail a permis de mettre en évidence l'importance du couvert végétal et des pratiques culturales sur le risque d'érosion des sols. En effet, il a été montré que plus le couvert est abondant, plus l'effet érosif de la pluie est atténué. En effet, sous forêt, en plus de la protection des arbres, le sol est couvert de feuilles et d'arbustes, ce qui permet de limiter considérablement le ruissellement et donc les pertes en sol, même lors de fortes pluies.

Les différents systèmes de mesures donnent des résultats différents car ils ne mesurent pas les mêmes compartiments du géosystème érosif (Sécheresse, 2004 ; ORSTOM Actualités, 1998). La méthode de mesure du taux d'érosion par les états de surface est une méthode qui a tendance à surévaluer les pertes en terre, car elle mesure les pertes en terre au niveau de la zone de départ, amont du géosystème. Elle est complémentaire des autres méthodes (mesure des turbides, bathymétrie) qui ne mesurent pas l'érosion de la zone de départ, mais celui de la zone d'arrivée, aval du géosystème, en ne tenant pas compte des redépôts sur les versants.

La validation de la méthode des états de surface par la comparaison avec les mesures des stations hydrologiques n'est pas satisfaisante. Cependant la méthode des états de surface évalue des taux maximum des zones de départ et convient donc très bien pour évaluer les risques d'érosion. Elle est une base essentielle pour la cartographie des risques d'érosion.

Les pratiques de culture dans le bassin versant de Doan Hung (restes de forêt, plantations de forêt, co-plantations et système de « mulching ») sont en général conservatrices pour les sols. Toutefois, on peut se demander si la zone n'avait pas d'usines (usine à papier, usine à thé ...), est-ce que les paysans seraient prêts à planter par eux-mêmes ? En effet, l'agriculture et la sylviculture sont relativement pénibles et nécessitent beaucoup de main d'œuvre, alors que l'industrie agro-sylvicole n'est pas encore très développée dans la zone. Les agriculteurs trouvent avec peine une ressource financière. La déforestation continue pour l'extension et l'intensification des cultures annuelles (manioc, maïs, taro, maranta ...). Là où n'existent pas de pratiques de conservation des sols, cela entraîne une augmentation de l'érosion et des mouvements de terrain (glissements de terrain, coulées de boue, ...).

Bibliographie

- BARROW C.J., 1991. « Land Degradation » Cambridge University Press (Ed.). Cambridge, United Kingdom, 257 p.
- BÉTEILLE R., 2000. « Culture sur brûlis », CD Encyclopaedia Universalis v.6.0.11.
- ECHOLMS, 1997. « Spreading deserts : the hand of man », World Watch Paper (13). World Watch Institute, Washington DC, 40 p.
- ORSTOM Actualités 1998, n° 56 Spécial Érosion, 41 p.
- POESEN J., 1987 : The role of slope angle in surface soil formation, in V.Gardner (editor), International Geomorphology II, pp. 437-448.
- POMEL S., 2003 : L'érosion des sols dans le bassin-versant de l'Oued Nakhla Rif (Maroc). Étude préliminaire. Rapport de PROTARS II n° 21/08, 19 p.
- POMEL S., 2004 : Les instantanés du sol pour mesurer l'érosion. Journal du CNRS n° 173.
- POMEL S., PHAM QUANG Ha., NGUYEN VAN Thiet ., 2007 : « Les états de surface des sols au Nord Vietnam : une méthode pour estimer et cartographier les risques d'érosion ». Journées scientifiques Inter-Réseaux AUF - Hanoi sur : Gestion intégrée des eaux et des sols. Pré-actes des JISRAUF, Hanoi 5-9 novembre 2007. Publication de l'AUF, p. 359-366.
- POMEL S., 2008: La mémoire des sols. Presses Universitaires de Bordeaux, 343 p.
- ROOSE E., 1981. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale, Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 569 p.
- ROOSE E., 1994. « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) », FAO, Bulletin pédologue de la FAO. <http://www.fao.org>
- ROOSE E., Sécheresse 2004, vol.15 n°1, Spécial Érosion AUF, 130 p.
- UNEP. United Nations Environmental Program. Disponible sur internet : <http://www.unep.org>
- VALENTIN C., 1999. « Erosion et Changement d'Usage des terres (ECU) ». Projet d'Unité de Recherche (U.R.), Paris : IRD, 39 p.

Evaluation qualitative et quantitative de l'érodibilité de différentes unités paysagères représentatives du Burundi : de la parcelle au micro bassin

H. DUCHAUFOUR et C. MIKOKORO

ISABU, Burundi

Courriel : herve.duchaufour@wanadoo.fr

Résumé

Entre 1977 et 1995, la Coopération française a financé des travaux de recherche sur l'érosion des sols menés par une équipe de chercheurs franco-burundais de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU). Cinq stations constituées de parcelles Wischmeier ont été implantées dans différentes situations agraires et paysagères représentatives du pays. Le suivi des expérimentations sur plusieurs années a démontré que tous les sols étudiés ont une bonne à très bonne résistance à l'érosion (K oscillant entre 0,003 et 0,15). Leur comportement vis-à-vis de l'érosion varie en fonction de leurs propriétés structurale, porale et physico-chimique : la détachabilité et le charriage des agrégats caractérisent plutôt les sols ferrallitiques argileux évoluant sur schiste du Mimirwa central (Crête Congo-Nil) alors qu'une dégradation chimique, structurale et porale par dilution progressive des matières organiques et transferts sélectifs des cations basiques (Ca^{2+}) distingue les sols bruns eutrophes et sols en voie de ferrallitisation développés sur les séries volcano-sédimentaires de la dépression orientale du Moso.

En condition cultivée avec amendement organique, les phénomènes de lixiviation des cations basiques Ca^{2+} et de Mg^{2+} sont rapides et intenses en condition acide et significatifs d'une dégradation accélérée de la fertilité avec une désaturation du complexe absorbant et inversement, une augmentation de l'acidité et de l'aluminium échangeable. Dans le cas des sols argileux eutrophes du Moso, la mise en solution des nutriments des sols, proportionnellement plus importante que les sols ferrallitiques, n'est inquiétante que sur le plan de la matière organique (de 15 à 30 % supérieur au sol en place) et plus encore du phosphore. Cette sélectivité agissant surtout sur les éléments fertiles du sol constitue une contrainte réelle pour maintenir leur productivité.

Les résultats observés sur deux micro-bassins expérimentaux de 4 et 6,5 ha du Mimirwa central montrent que les pertes mesurées au champ (sur parcelles Wischmeier) sont infiniment supérieures avec des écarts de l'érosion entre les deux échelles, de 60 pour les pertes en terre et de 30 pour le ruissellement. Les études morpho-pédologique et hydrodynamique donnent une bonne explication des processus pédogénétiques et érosifs qui se manifestent dans ces systèmes : une forte disparité liée à la dense occupation du sol dans les zones les plus fertiles notamment dans la concavité des pentes occupées surtout par une bananeraie dense et la colocase. Cette disparité se traduit en i) un enrichissement à l'aval aux dépens d'un appauvrissement et d'une dégradation en amont et ii) une inversion des vitesses d'infiltration entre l'amont et l'aval en passant par un optimum à mi-parcours. Les variations topographiques et la diversité / densité du couvert biologique concourent ainsi concomitamment sur le fonctionnement écosystémique des deux bassins versants en redistribuant les ruissellements, les éléments solides et les nutriments à l'intérieur même de leur périmètre.

Mots Clés : Parcelle Wischmeier, micro-bassin, érodibilité, coefficient K, limites d'Atterberg, stabilité structurale, transferts cationiques, pluviolessivats

Abstract

Between 1977 and 1985, the French cooperation has funded research on soil erosion led by a franco-burundi team from the Burundi Institute of Agronomic Sciences (ISABU). Five stations made of Wischmeier plots were established in different agrarian and landscaping situations representative of the country. Follow up of the experimentation over several years, revealed that all the studied soils had a good to very good resistance to erosion (K fluctuating between 0,003 and 0,15). Their behavior with regard to erosion varies with their porosity, their structural and physicochemical properties: detachability and aggregates drifting are rather characteristic of lateritic clayish soils developing on schist of central Mimirwa (Congo-Nil ridge), while chemical, structural and porous degradation through progressive dilution of organic matter and selective transfers of base cations (Ca^{2+})

characterize eutrophic brown soils or on the track of ferrallitisation developed on the volcano sedimentary series of the Moso eastern depression.

In cropping condition with organic amendment, base cations Ca^{2+} and Mg^{2+} leaching is much more rapid and intense in acidic condition and is symptomatic of an accelerated fertility degradation with desaturation of the absorbing complex, and inversely an increase in acidity and in exchangeable aluminum. In the case of the eutrophic clay soils of Moso, soil nutrients dissolution, proportionately more important than in lateritic soils, is alarming only in terms of organic matter (from 15 to 30% higher than the soil in place) and even more in terms of phosphorus. This selectivity, acting mainly on fertile elements in the soil, is a real constraint to maintain productivity.

The results observed on two experimental 4 and 6,5 ha micro-basins of Central Mumiwa show that field losses (on Wischmeier plots) are much greater with differences in erosion between the two scales, 60 for losses in soil and 30 for run-off. Morpho-pedagogic and hydrodynamic studies give a good explanation of the pedogenetic and erosive process taking place in those systems: a high disparity related to the dense occupation of the land in the most fertile areas mainly in the concave slopes occupied mainly by dense Banana and taro crops. This disparity is translated into: i) an enrichment downstream to the expenses of an impoverishment and degradation upstream and ii) a reversal of infiltration rates between upstream and downstream through an optimum at mid-way. Topographic variations and diversity / biological cover density contribute to the functioning of both watersheds by redistributing water run-off, solid elements and nutrient inside their own perimeter.

Keywords: Wischmeier plot, micro-basin, erosion, coefficient K, Atterberg limits, structural stability, cationic transfer, pluviollessivates

Introduction

Classiquement, l'érosion est assimilée à un décapage plus ou moins rapide et irréversible des versants par le ruissellement qui contribue à une baisse de la fertilité des terres par épuisement progressif des richesses minérales et organiques. De même, on détermine son origine dans la modification de la structure du sol sous l'effet de l'énergie cinétique des chutes des gouttes de pluie et des façons culturales. En élargissant la définition de l'érosion hydrique à toutes les variables qui influent, dans le temps et dans l'espace, plus ou moins directement sur le processus, c'est l'analyse de tout un système complexe qu'il faudrait étudier et qu'il serait bien entendu impossible de cerner de manière exhaustive.

Dans le cas qui nous intéresse, nous nous proposons d'analyser de plus près les principaux facteurs du milieu physique qui sont considérés comme les causes premières du déséquilibre du système avec son milieu et qui contribuent au transport accéléré de la terre sur les versants escarpés et au ruissellement excessif. Des travaux de recherche ont été ainsi menés de 1977 à 1995¹ sur plusieurs sites de références du Burundi. Les différents processus d'érosion observés dans le contexte montagneux du pays et l'analyse de leur évolution selon les sources d'énergie et les facteurs qui modifient leur expression s'appuient des résultats expérimentaux sur parcelles Wischmeier et sur deux micro bassins.

¹ Travaux de la mission Forestière Crête Congo-Nil basée au Département des Forêts entre 1977 et 1984 puis de la Division Sylvicole de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) en 1985 devenue Projet de Recherche pour la Protection de l'Environnement de 1991 à 1995.

1. Méthodologie

* **Le modèle Wischmeier** : WISCHMEIER et SMITH ont mis en évidence l'action des différents facteurs qui jouent un rôle dans l'érosion par la formule qu'ils ont proposée et qui sert de référence internationale (« Universal loss equation »):

$$A = R \times K \times SL \times C \times P$$

A : les pertes en terre exprimées en tonnes par ha d'une parcelle expérimentale durant un épisode pluvieux ou sur une année. Mesurées sur deux 2 échantillons de boue de 1 litre après passage à l'étuve ($\theta = 90^\circ\text{C}$).

R : l'indice d'érosivité des pluies. Il correspond à l'énergie cinétique des pluies que multiplie I_{30} (intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en mm/h).

K : le facteur de sensibilité du sol à l'érosion \Rightarrow facteur d'érodibilité. Il est fonction des propriétés intrinsèques du sol notamment des matières organiques, de la texture, (cf. figure de KUNTZE), de la perméabilité et de la structure de l'horizon. Il s'échelonne de 0,7 pour les sols les plus fragiles (les limons silteux) à 0,001 pour les sols les plus stables. Le protocole de WISCHMEIER le mesure sur des parcelles nues de référence de 22,2 m de long et des pentes de 9 %. Le sol, travaillé dans le sens de la pente, ne doit plus recevoir de matières organiques depuis trois ans.

SL : le facteur topographique, S traduisant l'angle d'inclinaison de la pente (en %) et L, la longueur de pente en pieds (1m = 3,2809 pieds). Les abaques établies selon le principe de l'Universal loss equation (WISCHMEIER et SMITH, 1978) permettent de calculer le facteur topographique qui varie de 0,1 à 5 dans les situations de pente faible et qui peut atteindre plus de 25 dans les conditions de fortes pentes des montagnes du Burundi².

C : le couvert végétal. Il inclue le niveau de production et les techniques culturales qui y sont associées. C'est un facteur frein plus ou moins efficace à l'énergie des gouttes de pluies suivant la mise en valeur du sol. Une végétation permanente (prairie ou forêt) ne découvrant le sol à aucun moment est nettement préférable à une agriculture plus exposée laissant le sol dénudé pendant une longue période. Il correspond au rapport entre l'érosion observée sur la parcelle cultivée ou forestée et l'érosion enregistrée sur sol nu. Il s'échelonne de 1 sur sol nu et 0,001 sous forêt ombrophile.

P : l'indice qui rend compte de l'efficacité des pratiques purement anti-érosives (buttage continu, haie herbacée...). C'est un facteur frein au ruissellement. Il correspond au rapport entre l'érosion d'une parcelle cultivée et celle d'une parcelle d'une même culture aménagée. L'indice varie de 1 sur parcelle non aménagée à ∞ en conditions anti-érosives très efficaces (paillage épais par exemple).

* **Les limites du protocole Wischmeier** : Ce protocole s'applique à l'érosion en nappe et au ruissellement linéaire qui prend naissance dans la parcelle

² Le facteur SL se calcule aussi à partir de l'équation de WISCHMEIER: $\sqrt{L/100 (0,76 + 0,53 S + 0,0076 S^2)}$.

expérimentale en se limitant exclusivement à son espace. Il exclut donc tous les écoulements venant de l'amont. En outre, ce modèle a été testé, expérimenté et vérifié dans des paysages de pente modérée des plaines américaines; il n'est donc pas adapté au relief de montagne du Burundi où les pentes moyennes sont parfois proches de 40 % et les sources de ruissellement plus fortes que les pluies. Enfin ce modèle ne donne que des données indicatives sur le volume ruisselé et les pertes en terre. Ces données ne devraient être statistiquement valables qu'après une succession de mesures sur une dizaine d'années, voire même sur 20 années. A l'échelle de l'averse, leur interprétation est plus qualitative que quantitative du fait de l'interaction de nombreux paramètres qu'il est difficile d'apprécier et de mesurer sur le terrain. Précisons également que les sources d'erreur à l'échantillonnage nous laissent une marge d'erreur de $\pm 15\%$ sur le résultat final du calcul des pertes en terre et des taux de ruissellement (DUCHAUFOR et al, 1991). Cette incertitude repose essentiellement sur l'imprécision des hauteurs d'eau et de boue mesurées dans les cuves et sur l'homogénéisation de la collecte des prélèvements de boue qui permet de mesurer la masse de terre sèche contenue dans un litre. Toutes les données cumulées sur plus d'une quinzaine d'années de mesures à l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) de 1975 à 1995, apportent néanmoins des renseignements intéressants sur les processus d'érosion en nappe et linéaire à l'échelle de la parcelle paysanne. Les résultats que nous avançons, peuvent même être inférieurs à la réalité puisqu'ils ne tiennent pas compte de l'action érosive des arrivées d'eaux sus-jacentes.

*** Evaluation qualitative des pertes en terre :** Pour avoir un ordre de grandeur sur la sélectivité des éléments transportés par ruissellement, nous avons procédé à des prélèvements systématiques des boues afin de comparer leurs propriétés physico-chimiques avec celles des sols en place.

2. Contexte : Définition des pédopaysages et de leur représentativité

La méthodologie du protocole de WISCHMEIER et SMITH, délicate et onéreuse, ne pouvait être étendue à l'ensemble des régions naturelles du pays. Il nous importait donc de choisir les sites qui représentaient le mieux les conditions de sols et de relief du territoire. La région du Mumirwa de la crête Congo-Nil fortement exposée à l'érosion hydrique tout en étant proche de Bujumbura (facilité du suivi) représentait le lieu de prédilection pour le suivi expérimental de parcelles en assez grand nombre. En complément aux études menées sur parcelles Wischmeier, deux bassins versants élémentaires situés dans l'escarpement à bananier du Mumirwa

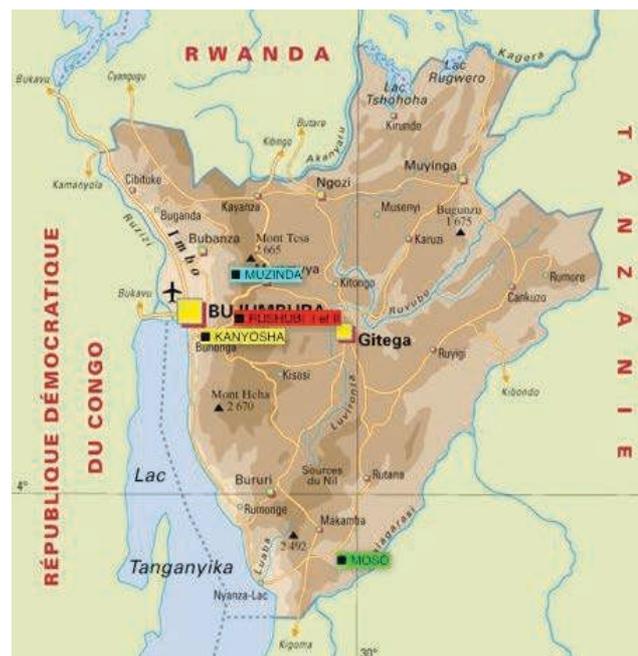


Figure 1 : Situation des 5 stations de mesures sur parcelles Wischmeier suivi par l'ISABU

central ont été équipés d'un déversoir à l'aval pour étudier leur fonctionnement hydraulique (études et suivis réalisés conjointement avec le Projet Suisse d'Appui aux Développement des Communes de Mubimbi, Kanyosha et Isale - PADC).

Rushubi I (figure 1, altitude 1750 m) : caractérise les zones de crêtes gréso-quartzitiques aciditées d'altitude. Les sols, de type ferralsols humifères (> 2 % de C_{org} et 84 % de sable moyens et grossiers), sont de nature sablo-caillouteuse avec une charge de cailloux pouvant atteindre plus de 60% dès 30 cm). Leur profondeur est variable et ils sont très acides (pH \approx 4,5). La CEC \approx 5-6 méq/100g de terre est totalement désaturée en cations basiques (< 10 %) mais saturée en aluminium échangeable (Al^{3+} \approx 80 - 90 % de la CEC). **Ce pédopaysage constitue les milieux de faible productivité des sommets quartzitiques** qui sont largement répandus dans les massifs montagneux de l'intérieur du pays et réservés en général aux parcours ou aux boisements. Les conditions les plus aptes, essentiellement régies par la profondeur du sol, sont toutefois utilisées par l'agriculture.

Rushubi II (figure 1) : A proximité de la précédente, à 1650 m d'altitude, cette station particularise les sols argileux des collines ferrallitiques en « demi-orange » de la région du Mumirwa de la crête Congo-Nil fortement exposée à l'érosion hydrique. Les pentes, quoique fortes, sont régulières et ininterrompues ; elles caractérisent les versants profondément altérés des schistes micacés intrudés de roches basiques (facies schisto-basique), des granites et parfois des gneiss en altitude. Ces derniers sont fréquemment traversés par des filons de pegmatite ou de quartz de taille métrique et décimétrique très peu altérables qui enrichissent les sols de bandes de cailloux \pm discontinues (« stone line »). C'est un des facies les plus fréquents du pays. Il représente la majorité des sols cultivés des plateaux centraux et de l'escarpement du Mumirwa. La station expérimentale de Rushubi II caractérise **ces pédopaysages à bon potentiel agricole des collines ferrallitiques** représentés par des ferralsols-ferralsols argileux généralement humiques (C_{org} > 1,16 % sur 10 cm ou > 0,59 % sur 20 cm ou plus) et à acidité modérée (pH \approx 5 - 5,5). Leur CEC est relativement élevée (12-16 méq/100g de terre), plus ou moins saturée selon les conditions d'exploitation agricole. La détoxification complète de l'aluminium ne se produit qu'en régime intensif et continu de fumure organique ou mieux encore, par des amendements organique et calcaire.

La pluviométrie annuelle moyenne (Han) de la station Rushubi II est de 1 692 mm et l'agressivité annuelle moyenne (Ran) de 550 (Rapports annuels PRPE / ISABU).

Les deux stations de Rushubi I et II sont représentatives de la géologie, de l'occupation des sols et des formes d'érosion observées dans la région du bassin d'Isale (cf. le bloc diagramme du Mumirwa central en annexe I)

Kanyosha (altitude : 1160 m) : Ce troisième site se distingue des précédents par le fait qu'il est représentatif des versants abrupts rajeunis par l'érosion des contreforts gneissiques du Mumirwa central. Les sols se définissent par leur minceur et leur petite capacité de productivité concentrée dans la couche arable superficielle. Leur fertilité est bien souvent médiocre voire nulle lorsque la couche humifère a disparu. Il s'agit de sols récents, constamment rajeunis par l'érosion, développés sur pentes fortes (> 60 %) représentés majoritairement par le complexe d'association de lithosols, régosols lithiques, régosols et sols d'altération récente \pm eutrophes (pH = 5,0 - 6,0 ; CEC \approx 5-10 méq/100g de terre et C_{org} = 0,5 - 1% sur 10 à 20 cm au plus). Ces versants gneissiques sont souvent traversés par des filons basiques de gabbro et de dolérite; dans ce cas, les sols sont plus profonds et fertiles (sols bruns tropicaux eutrophes) et marqués dans le paysage par un adoucissement du relief. Nous le dénommerons **le pédopaysage des versants abrupts de KANYOSHA** (figure 1).

La pluviométrie annuelle moyenne (Han) de la station est de 1150 mm et l'agressivité annuelle moyenne (Ran) de 280 (Rapports annuels PRPE / ISABU).

Muzinda : Les sols évoluant sur les séries des quartzophyllades de la station de Muzinda (altitude 1250 m, pluviométrie moyenne annuelle de 1350 mm) présentent des similitudes avec la station de Rushubi I (ferralsols humifères). Ils évoluent sur des pentes de collines au relief plus atténué (entre 20 et 30 % de pente en moyenne), situées sur le contrefort occidental du Mumirwa central. Leur texture sablo-argileuse se développe sur de plus grande profondeur ce qui leur confère un potentiel agricole supérieur. **Les potentialités agraires du pédopaysage de MUZINDA** (figure 1) se situeraient entre celles de Rushubi I et II.

Moso : Ce dernier site dépeint un paysage particulier de la plaine du Moso (altitude 1350 m), personnalisé par les ravinements spectaculaires qui dénudent et entaillent les collines de la région de Bukemba-Gihofi. C'est un facies unique au Burundi issu des laves amygdaloïdes de la série du

Kabuye du Moso (basalte ancien du Malagarasien³). Les sols sont en voie de ferrallitisation mais leur potentiel agronomique est encore très satisfaisant et supérieur aux autres sols des pédopaysages précédents. Leur fragilité toute particulière au ravinement nous a amenés à nous y intéresser davantage. Nous l'appellerons **le pédopaysage des collines basaltiques du Moso** (figure 1) caractérisé par des ferrisols humiques eutrophes et des sols bruns kaolinitiques humiques intergrade ferrisols eutrophes à argile lourde (80 à 87 %), de type 2/1 pour une partie (CEC_{argile} quelque fois ≥ 16 méq/100g de terre et CEC oscillant entre 12 et 21 méq/100g de terre, saturée en ions Ca^{2+} et Mg^{2+}). Aucune analyse structurale et mécanique n'a été réalisée. L'interprétation de l'ampleur du phénomène de ravinement n'a pas été élucidée. C'est un processus encore très actif de nos jours et qui date depuis des décennies. WALEFFE signalait déjà en 1965, dans son étude géologique du Sud-Est du Burundi, la présence de bad-lands sur schiste calcaire et de ravins de 15 à 20 m de profondeur sur les collines basaltiques de Bukemba, ce qui n'est guère différent aux profondeurs actuelles. La pluviométrie annuelle moyenne (Han) de la station est de 1 290 mm et l'agressivité annuelle moyenne (Ran) de 450 (Rapports annuels PRPE / ISABU).

3. Résultats

3.1 Données sur parcelles Wischmeier

3.1.1 Le protocole WISCHMEIER détermine une faible érodibilité des sols

La détermination du facteur K (tableau 1 et figure 2) des principaux pédopaysages burundais indique une bonne à très bonne résistance à l'érosion.

Pédo-paysage et pente expérimentale en %	Nombre d'années expérimentales	Agressivité annuelle moyenne (R_{AM})	Pertes en terre annuelles moyennes en T/ha (A)	Ruissellement annuel moyen en % (KR_{AM})	Coefficient d'érodibilité annuel moyen (K_{AM})
RUSHUBI I (45 - 50%)	6	466	429	5,2	0,035
RUSHUBI II (27 %)	7	530	693	10,8	0,10
MUZINDA (35 %)	2	> 130 (*)	445	5,6	$0,15 \pm 0,02$
KANYOSHA (57 - 75%)	1	200	636	33,1	0,06
MOSO (25 %)	3	360	57	2,1	0,015

(*) La première année de mesure n'a démarrée qu'à partir du mois de novembre de la campagne 84 – 85

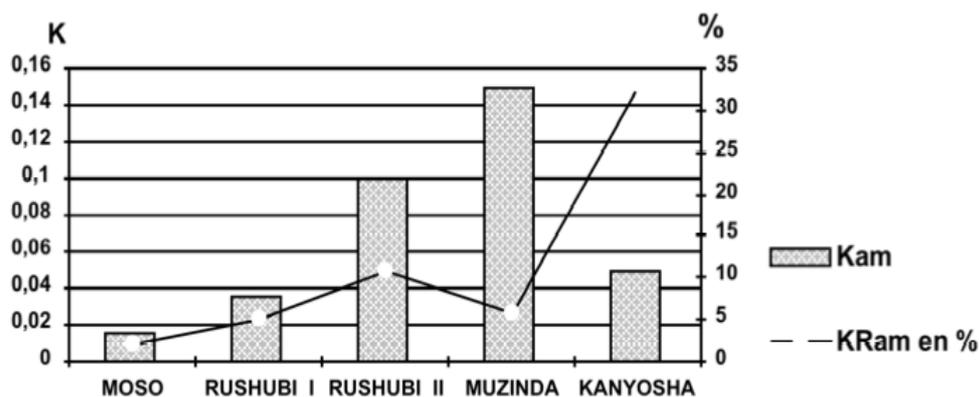


Tableau 1 et Figure 2 : Valeurs moyennes des coefficients d'érodibilité K_{am} et des coefficient de ruissellement KR_{am} en % des différents pédopaysages burundais

Les valeurs obtenues sont semblables à celles observées en Afrique sur sols ferrallitiques (ROOSE et SARRAILH, 1989) :

- Sols ferrallitiques issus de schiste et granite: $K = 0,15$ à $0,18$

³ L'une des époques précambriennes (650 à 1 100 millions d'années) représentée au Burundi

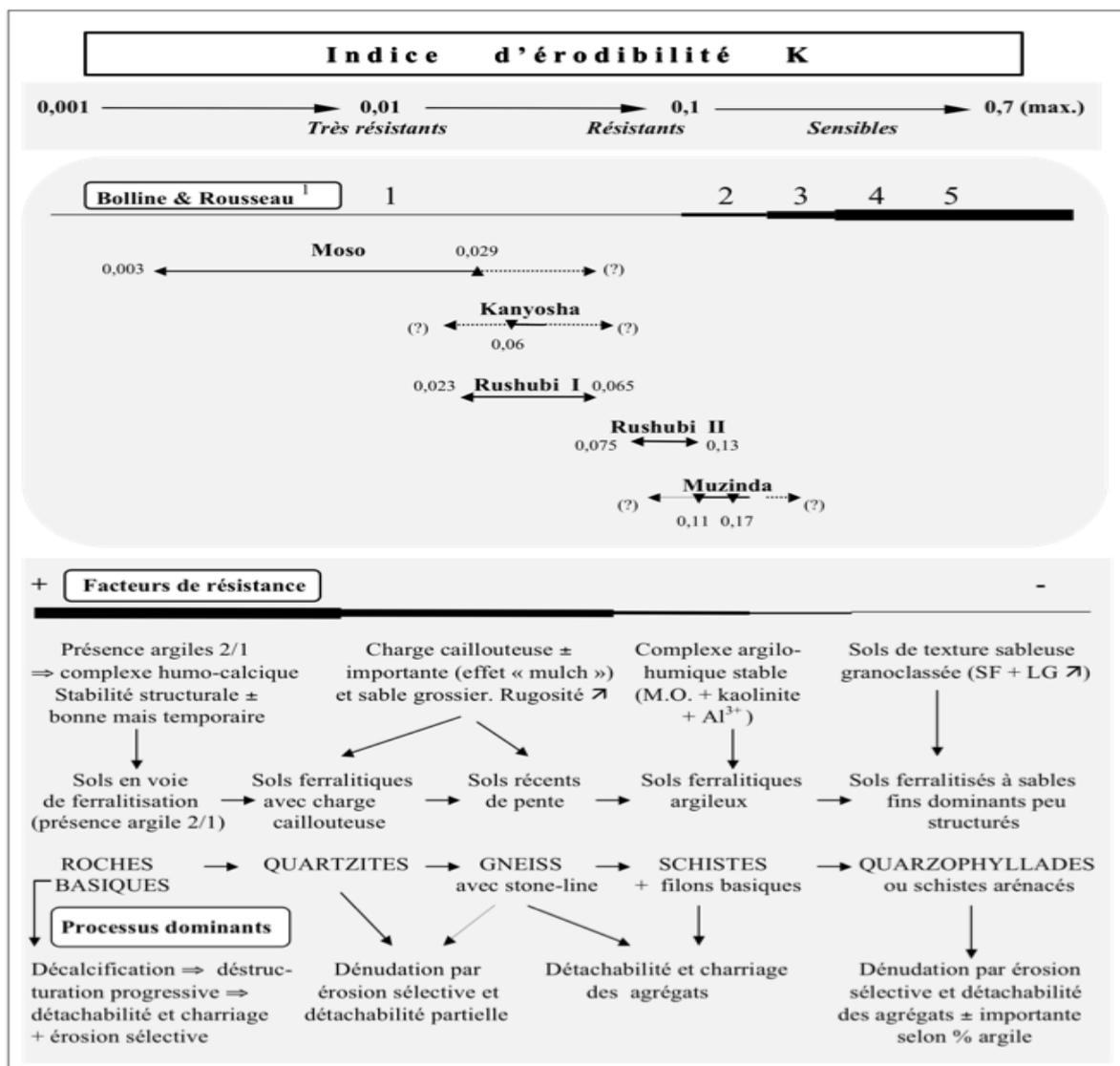
- Sols ferrallitiques issus de schiste micacé (Rushubi II): $K = 0,075$ à $0,13$
- Sols ferrallitiques sableux avec charge caillouteuse ou gravillonnaire au sein du profil: $K = 0,01$ à $0,05$
- Sols ferrallitiques sablo-caillouteux sur quartzite (Rushubi I): $K = 0,02$ à $0,065$
- Sols ferrallitiques sablo-argileux: $K = 0,12$
- Sols ferrallitiques sablo-argileux issus de schiste arénacé (Muzinda): $K = 0,15 \pm 0,02$

Comme ces auteurs l'ont déjà constaté, les mesures directes de l'érodibilité d'un sol (K) sur des parcelles standards universelles reflètent les effets combinés de toutes les propriétés qui influencent significativement la facilité avec laquelle un sol particulier est érodé par la pluie (battance) et le ruissellement (rigole) s'il n'est pas couvert. K varie ainsi suivant les propriétés qualitatives et quantitatives du sol, notamment *le taux de matière organique* (1) *la texture du sol* (2) (en particulier les sables de 50 à 500 μ ou la présence d'éléments grossiers) et la teneur en alumine et fer libre qui joue significativement sur la cohésion de la *structure du sol* (3) (DUCHAUFOR Ph., 1991; SINGER et al, 1980, cité par ROOSE, 1994). *La perméabilité* (4), bonne à très bonne pour chacun de ces sols, ne devrait pas intervenir beaucoup dans leur différenciation.

3.1.2 Les principaux paramètres du sol qui interfèrent sur l'érodibilité des sols (*Observation des mécanismes sur les parcelles nues de Rushubi I et II et du Moso*)

En tenant compte de la classification de BOLLINE et ROUSSEAU (1978) et des critères de différenciation des pédopaysages, nous observons un comportement moyen pour différents états de surface et d'humidité et pour toute une gamme d'averses caractéristiques de la région (figures 2 et 3 + tableau 1).

La figure 3 fait allusion au caractère évolutif du coefficient K au cours du temps en fonction de l'humidité du sol, des variations de sa rugosité et de la vitesse de décomposition des matières organiques.



¹ K < 0,10	: sols très résistants à l'érosion	1
0,10 < K ≤ 0,25	: sols assez résistants à l'érosion	2
0,25 < K ≤ 0,35	: sols moyennement sensibles à l'érosion	3
0,35 < K ≤ 0,45	: sols assez sensibles à l'érosion	4
K > 0,45	: sols sensibles à l'érosion	5

Figure 3 : Les variations du coefficient d'érodibilité K en fonction des paramètres des sols

Dans le cas des sols à forte pierrosité de **Rushubi I**, la présence de 10 % de cailloux réduit l'érodibilité de 15 %, celle-ci diminuant fortement au delà de 40 % de charge (DUMAS, 1965; POESEN, 1990; ROOSE, 1994). L'indice décroît de 40 % en trois ans au fur et à mesure du dégagement de la pierrosité en surface alors que le taux de ruissellement annuel reste identique entre 5,5 et 7 %. La position du caillou dans le sol a donc un effet ambivalent sur l'infiltration et sur la génération du ruissellement. Pour un même pourcentage, les cailloux bien incorporés dans la couche superficielle encroûtée diminuent la vitesse d'infiltration et accélèrent le ruissellement. L'énergie cinétique de l'eau ruisselée, brisée par la forte charge caillouteuse de surface, est cependant insuffisante pour transporter de grosses quantités de terre (cf. diagramme de Kuntze de la figure 4).

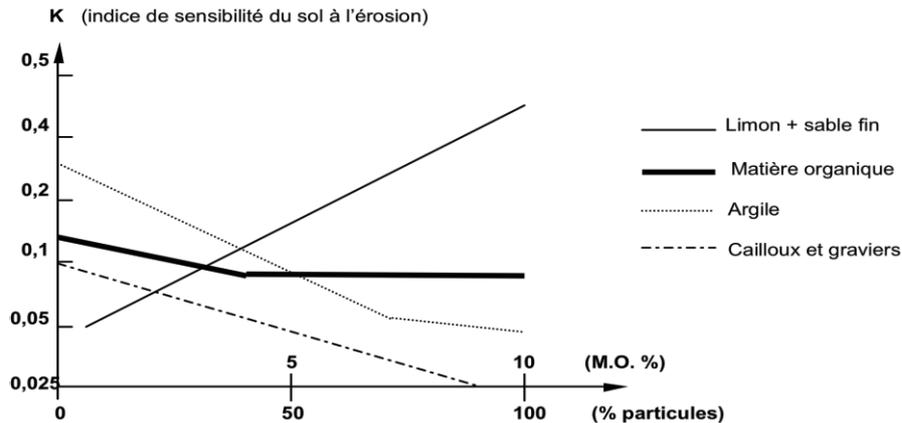


Figure 4 : Variation de l'indice de sensibilité K des sols en fonction de leur propriété organo - minérale (Kuntze et al, 1988)

Pour les sols ferrallitiques argileux à limono-argileux à bonne stabilité structurale de **Rushubi II**, le mécanisme évolue différemment. Durant les deux premières années, les matières organiques se dégradent progressivement et affectent la stabilité de la structure en surface. Les valeurs de K deviennent maximales en fin de deuxième année pour se stabiliser ensuite de manière relativement proportionnelle au taux de ruissellement enregistré. Une forte diminution de l'indice se fait ressentir une fois l'horizon humifère décapé qui laisse apparaître la structure plus grossière sous-jacente et l'apparition d'un horizon plus cohérent et compact. La détachabilité des agrégats de ces sols et leur charriage sont donc dépendants de l'énergie de l'eau ruisselée et de la cinétique de biodégradation de la matière organique. La teneur chimique des boues s'apparente à celle de la parcelle; ce sont en général les propriétés intrinsèques des agrégats qui y sont mesurées. Dans l'analyse des boues, nous n'avons pas distingué de réelles concentrations issues d'une érosion sélective. Leur composition organo-minérale s'apparente à celle du sol initial.

Le cas est légèrement différent pour les sols très argileux des matériaux volcaniques du **Moso**. L'augmentation non négligeable d'une année à l'autre de l'indice d'érodibilité s'est faite absolument indépendamment du taux de ruissellement qui est resté constant. Même s'il s'agit de chiffres qui peuvent être sujets à des erreurs relatives, l'indice a tout de même décuplé en trois ans. Cet accroissement est fort probablement lié à une lente et progressive dégradation chimique du sol qui le fragilise de plus en plus à l'érosion. La très faible érodibilité des deux premières années s'explique par l'existence de bonnes propriétés organo-minérales du milieu et la présence d'un réseau racinaire primitif insuffisamment décomposé. Il s'agit, en premier temps, d'un simple processus mécanique au cours duquel le détachement et le transport solide se font au gré des variations de la résistance du sol et des concentrations de ruissellement. Une fois les fibres végétales décomposées, les matières organiques se diluent. Le pH et la concentration organique des boues deviennent sensiblement plus élevés que les teneurs organiques des parcelles respectives. Cette augmentation s'observe également au niveau du Ca^{2+} et de la capacité d'échange cationique. Sans avoir tous les éléments en notre possession (résultats analytiques en série sur 10 années d'observation au moins et étude de l'évolution régulière des propriétés physiques et mécaniques de l'horizon de surface), nous pouvons néanmoins supposer qu'une dégradation physico-chimique affecte les propriétés organo-minérales au fil des années par une décalcification lente et progressive dans laquelle des ions Ca^{2+} et une certaine forme de matière organique

agglomérés en complexe organo-métallique de type humo-calcique seraient entraînés sous forme de micelles $< 2 \mu$ par dilution et ruissellement (DUCHAUFOR, 1995). Nous pouvons émettre aussi l'hypothèse qu'une déstructuration de la surface croît au fur et à mesure que cette dégradation affecte les agents de liaison des agrégats. En outre, les argiles gonflantes favoriseraient la fermeture de la porosité de surface et le ruissellement en nappe qui lui-même est plus sélectif vis-à-vis de la mise en solution des éléments nutritifs.

3.1.3 Propriétés physico-chimiques des matériaux solides charriés et analyses des processus de sélectivité (*Observation des mécanismes sur les parcelles cultivées de Rushubi II et du Moso*)

Pour avoir un ordre de grandeur sur la sélectivité des éléments transportés par ruissellement, nous avons comparé le pédopaysage **de Rushubi II** qui représente la majorité des sols cultivés du milieu rural à celui **du Moso**, dont la fertilité est supérieure. Nous formulons l'hypothèse que les résultats sont extrapolables aux sols argileux acides de type ferralsol naturellement pauvres en cations basiques de Rushubi II et aux sols argileux eutrophes de type ferrisol, naturellement riches en ces mêmes cations du Moso et aux sols récents superficiels acides de type régosol développés sur pentes très fortes, particulièrement pauvres en matière organique (Kanyosha).

Le sol de la parcelle WISCHMEIER de Rushubi II (parcelle 18) est un ferralsol typique fortement acide qui n'a reçu aucun apport organique avant et durant toute la période de l'essai. La capacité d'échange est totalement désaturée et la toxicité aluminique très forte. A l'inverse, la parcelle cultivée (parcelle 16) a reçu en octobre 1990 une quantité importante de fumier bovin (110 T/ha). Ce redressement organique était absolument nécessaire après 4 années de cultures consécutives sans apport. Les analyses réalisées après fertilisation révèle que le sol est moins acide, possède une bonne teneur en phosphore et azote et une capacité d'échange cationique saturée entre 20 et 40 %. De plus, la détoxification de l'aluminium échangeable par la matière organique fraîche apparaît efficace au moins pendant les deux premières années de la rotation puisque l'indice de KAMPRATH est $< 30 \%$ ⁴.

Le manioc (septembre 90 à juin 92), cultivé sur billon isohypse et légèrement paillé de déchets de labour, profitant pleinement de cette fertilisation, a enregistré des pertes en terre insignifiantes (moins de 3 T/ha). La baisse progressive de fertilité que nous observons entre mars et septembre 91 (figure 5) n'est pas liée au transport de matériaux solides mais à l'exportation des fertilisants par la culture et à leur lessivage. Ces sols ont donc une capacité d'épuisement très rapide et demandent à être entretenus régulièrement par des apports de matières organiques fraîches préalablement compostées. Lorsque les pertes en terre sont très fortes, comme cela a été le cas par la suite avec la campagne du maïs et du haricot (156 T/ha), les baisses de fertilité n'ont pas été significativement plus élevées. La baisse, toujours progressive, est atténuée par rapport à la campagne précédente.

⁴ Indice de KAMPRATH (Ik.) = $Al^{3+} / \text{Sommes des bases} + H^+ + Al^{3+}$. Plus l'indice est élevé, plus la toxicité par l'aluminium échangeable est forte. Le seuil de tolérance pour la plupart des cultures vivrières est de 30% (OPDECAMP, 1988).

potassium, ion moins mobile, semble au contraire être plus stable à l'égard du transport solide et en solution.

Si on compare la qualité des terres érodées et des eaux ruisselées recueillies à l'aval de la parcelle WISCHMEIER au sol en place sur ces 10 premiers cm (tableau 2), on en tire des conclusions identiques. La croissance des pertes chimiques est presque parallèle à celle des pertes en terre. Elle est donc fonction inverse du couvert végétal. Nous constatons aussi que les concentrations en éléments nutritifs ont tendance à baisser lorsque l'érosion croît et le sol est plus appauvri (exemple de Kanyosha) mais les teneurs décroissent moins vite que n'augmentent les volumes de terre et d'eau.

Tableau 2 : Pertes sélectives en nutriments sur les deux sites de Rushubi II et du Moso durant la campagne 90-93.

Campagnes 1990 - 1993	EROSION TOTALE en Kg/ha/an				INDICE DE SELECTIVITE par rapport au sol en place (10 cm)			
	Sol nu		Cultures peu protectrices *		Sol nu		Cultures peu protectrices *	
	Rushubi II	Moso	Rushubi II	Moso	Rushubi II	Moso	Rushubi II	Moso
Carbone org. total	16 780	831	1 270	175	0,8	1,35	1,0	1,1
Azote org. totale	1 570	81	140	17,6	0,9	1,15	0,9	1,25
Phosphore org. total	19,2	1,4	5,6	0,15	0,85	1,3	0,8	5
CaO échangeable	108	126	59	28,2	3,3	1,6	2,6	1,7
MgO échangeable	12,6	32,4	10,5	8,1	0,9	0,9	1,4	1,0
K ₂ O échangeable	26,3	20,3	2,1	3,7	0,8	1,1	0,4	1,0
Argiles 0-2 µm en T/ha	488	49	33,7	8,4	0,95	0,9	0,9	1,0
Erosion annuelle moyenne en T/ha	694	56	53	9,8	0,60**	0,045	0,05**	0,008
Ruissellement annuel moyen en m ³ /ha	1845	229	689	82	--		--	
pH	4,9	6,5	5,6	7,0	1,2	1,1	1,2	1,1
Conductivité	0,017	0,053	0,037	0,057	0,24	2,6	0,55	4,8

* **Rushubi II**: Moyenne des pertes sur une rotation Manioc-Manioc-Maïs-Haricot avec forte fumure de fumier bovin en tête de rotation: pertes manioc (90-92) = 1,5 T/ha/an; pertes maïs-haricot (92-93) = 156 T/ha ⇒ moyenne de 53 T/ha/an

Moso: Moyenne des pertes sur une rotation Manioc-Manioc-Maïs-Jachère : pertes manioc (90-92) = 10,3 T/ha/an; pertes maïs-jachère (92-93) = 8,8 T/ha ⇒ moyenne de 9,8 T/ha/an

** Calculé par rapport à 10 cm de sol (densité apparente = 1,15 pour Rushubi II et 1,24 pour le Moso)

Remarque : 1 meq Ca²⁺ /100 gr. = 20,04 mg de Ca²⁺ /100 gr. = 28 mg de CaO /100 gr.

1 meq de Mg²⁺ /100gr. = 12,154 mg de Mg²⁺ /100 gr. = 20 mg de MgO /100 gr.

1 meq de K⁺ /100gr. = 39,103 mg de K⁺ /100 gr. = 47 mg de K₂O /100 gr.

Au Moso, les pertes sont proportionnellement plus riches en éléments nutritifs que le sol en place, ce qui le distingue absolument des terres acides du pédo-paysage de **Rushubi II**. C'est net pour le carbone, l'azote, le calcium et encore plus pour le phosphore sous culture. L'érosion au Moso est donc plus sélective vis-à-vis des nutriments probablement parce que le ruissellement en nappe est le processus dominant sur un tel sol où la présence d'argile 2/1 et les fortes teneurs en argile

contribuent au colmatage des pores en surface. La concentration des pertes en cations assimilables: K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} est respectivement 10, 15 et 30 fois supérieure à celle analysée dans les boues de Rushubi II. La mise en solution des fertilisants, manifestement plus importante au Moso qu'à Rushubi (et plus encore qu'à Kanyosha), est d'autant plus marquée que le volume érodé est faible. C'est aussi le cas lorsque l'on passe du sol nu à la culture. Ce constat ne permet pas d'expliquer le phénomène de ravinement observé dans ce pédo-paysage mais il n'est pas impossible qu'il y contribue en partie.

En accord avec ROOSE (1994), cela s'explique de deux manières. Plus la compétence du ruissellement en nappe est faible, plus sa vitesse est ralentie par la rugosité de la surface du sol, des tiges et des racines découvertes et de la litière. L'érosion évacue en priorité les matières légères et son écoulement plus lent et aréolaire favorise la mise en solution des éléments fertilisants les plus solubles. A l'inverse, plus la vitesse de ruissellement croît, plus elle provient de rigoles de telle sorte que les terres décapées sont sélectivement moins enrichies.

Les pertes pondérales en cations du sol du **Moso** n'ont rien de catastrophique, étant donné que les réserves apparaissent inépuisables. Il n'en est pas de même sur le plan de la matière organique (C_{org} et N_{org}) et du phosphore qui peuvent devenir rapidement déficients et constituer une contrainte préoccupante après quelques années de culture intensive sans restitution organo-minérale. C'est ce qui explique la mauvaise récolte de maïs en 93 (non mesurée car insignifiante) succédant à une excellente récolte de manioc (35,5 T/ha non écorcé). Quant au sol de Rushubi II, la démonstration des pertes par lixiviation, érosion et exportation par les cultures a été faite.

Les analyses effectuées sur le site de **Kanyosha** montrent que sur de telles pentes, la vitesse et l'énergie du ruissellement linéaire charrient de préférence des matériaux plus grossiers et inertes. Ces matériaux sont d'autant plus riches en sables siliceux qu'ils sont pauvres en éléments nutritifs (indice de sélectivité moyen = 0,5-0,6 excepté pour le phosphore). Cette non sélectivité montre le déséquilibre accéléré du bilan des nutriments et des matières organiques au niveau du sol en place. Si les argiles ne sont pas, elles aussi, emportées de manière sélective, il n'en demeure pas moins qu'en régime d'érosion importante ($> 50T/ha/an$), ce milieu évolue rapidement vers une squelettisation par accumulation relative des particules grossières à la surface (cailloux et sables grossiers). Dans tous les cas, il importe de pratiquer régulièrement une fumure organo-minérale.

3.1.4 L'érosion linéaire est conditionnée en priorité par le facteur topographique

D'autres facteurs, caractéristiques des paysages agraires burundais, ont une influence et une interaction complexe sur le comportement de sols vis-à-vis de l'érosion hydrique: il s'agit par ordre d'importance du facteur topographique, du couvert végétal et des averses exceptionnelles.

L'effet longueur et inclinaison de pente à l'échelle de la parcelle : L'importance de l'érosion est considérablement influencée par l'inclinaison de la pente. C'est un fait bien connu des agriculteurs burundais qui cherchent à dévier par n'importe quel moyen les écoulements parfois torrentiels qui laminent leurs champs fortement exposés.

Son ampleur est caractéristique des versants gneissiques pentus du pédopaysage de **Kanyosha** constitués de sols récents de profondeur variable (10 à 80 cm au plus). Les ménages qui occupent ces sites cultivent le manioc sur un cycle de cinq années: travaux du sol et bouturages réalisés généralement en fin de saison des pluies, deux sarclages effectués dans les huit mois suivants, récolte échelonnée durant la deuxième et troisième année, puis abandon à la jachère les deux dernières années du cycle. C'est le facies « manioc en friche » défini par PAULTRE (1992).

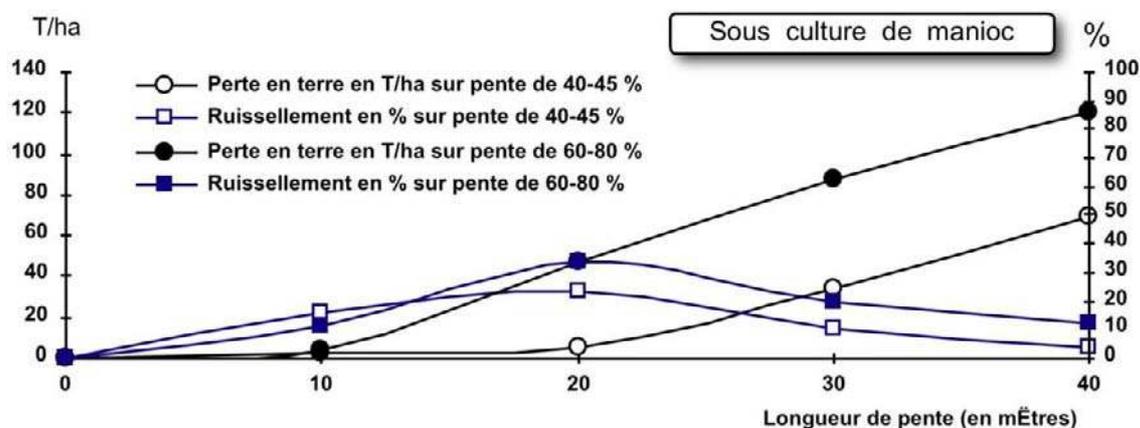
Les pentes ainsi cultivées peuvent atteindre pour les extrêmes 100 % (45°); c'est la limite supérieure cultivée observée dans le pays. Le découpage parcellaire en lanières est également typique des paysages de fortes pentes et leur allongement est d'autant plus marqué que la pente est forte. La longueur de pente, autre paramètre relié au facteur topographique, peut dépasser les longueurs normales du pays et atteindre ordinairement une quarantaine de mètres de long. Le découpage des parcelles en lanières ressort en premier lieu d'une logique du travail du sol sur de telles pentes. Le labour de bas en haut en bande étroite est moins difficile; il permet un retournement plus complet de la motte et facilite le rejet des pierres et des racines du chiendent de part et d'autre en alignements verticaux. Cela demande moins de travail à une époque en général surchargée (COCHET, 1993). En second lieu, le système d'héritage échelonné contribue aussi à sa manière au morcellement. Dans un souci d'équité, le partage se fera dans le sens de la longueur afin que les héritiers aient chacun une terre de fertilité équivalente (l'amont étant souvent plus érodé que l'aval en raison du creeping et du colluvionnement).

Nos essais ont donc respecté à la fois l'itinéraire technique pratiqué par les agriculteurs et les conditions topographiques de ce pédopaysage. Deux années de mesure sur le site de Kanyosha ont permis d'identifier l'effet de l'inclinaison (40 % à 80 %) et de la longueur de pente (10, 20 et 40 mètres) sur l'érosion du manioc de 2ème année et de la première année de jachère.

Tableau 3 et figure 6 : Ruissellement et perte en terre annuels sur parcelle Wischmeier de différente inclinaison et productivité du manioc

N° Parcelle et surface en m ²	Pente expérimentale en %	Ruissellement annuel (KRa) en %	Perte en terre (A) en T/ha	Production de manioc en T/ha
5 x 20 = 100 Parcelle Wischmeier	57 à 75 (convexité)	33,1	636	-
10 x 10 = 100	40	22,0 (4,8)	ξ (ξ)	5,2
10 x 20 = 200	45	32,6 (1,7)	ξ (ξ)	4,9
10 x 40 = 400	42	5,2 (1,1)	69,1 (ξ)	3,7
10 x 10 = 100	66	11,5 (6,8)	ξ (ξ)	7,8
10 x 20 = 200	59 à 70 (convexité)	34,1 (4,5)	47,5 (ξ)	6,9
10 x 40 = 400	78	12,3 (2,7)	120 (21,4)	7,5

(...) = première année de jachère ξ = petite perte non quantifiable



La littérature scientifique rapporte que lorsque l'inclinaison de la pente augmente, l'énergie cinétique du ruissellement s'accélère et accroît le transport des matériaux. De nombreux auteurs ont montré en effet que les pertes en terre croissent de façon exponentielle avec l'inclinaison. En Afrique centrale, HUDSON et JACKSON (1959, in ROOSE, 1994) proposent une formule, $E = K S^n$ où n varie entre 1,63 sur des rotations complètes (y compris prairies et jachères), 2,02 sur sols argileux et 2,17 sur sols sableux cultivés en maïs de façon intensive. Plus tard, HUDSON (1973) préconise un coefficient de 2 pour les conditions africaines en s'appuyant sur un plus grand nombre de résultats.

Cela se confirme plus ou moins exactement sur les versants pentus du contrefort gneissique de la crête Congo-Nil (avec $1,75 < n < 1,89$) où l'on observe plus d'érosion sur les parcelles cultivées les plus exposées (inclinaison > 60 %) à condition de tenir compte d'une longueur de pente supérieure à 20 m.

Nos essais (tableau 3 et figure 6) montrent que les risques s'aggravent au fur et à mesure que la parcelle s'allonge, ce qui est un cas fréquent dans ce paysage rural. Les ruissellemements et les pertes diminuent considérablement dès que la parcelle est laissée en jachère, mais néanmoins, sur ces mêmes parcelles allongées, nous avons encore enregistré plus de vingt tonnes de perte en terre avec pourtant moins de 3 % de ruissellement. L'effet longueur de pente influe donc manifestement sur l'accélération du ruissellement. Au-delà de 25-30 mètres d'écoulement sur une pente de plus de 50 -55%, il prend une énergie suffisamment puissante pour charrier des matériaux solides que ce soit sous manioc ou jachère. Sur les pentes moins

fortes (< 50 %), son énergie est stoppée par la végétation de la jachère. Ce n'est pas le cas avec le manioc.

Il est également intéressant de relever que la quantité d'eau ruisselée n'est pas proportionnelle aux poids des pertes en terre, ni à la longueur, ni à l'intensité de la pente. L'énergie cinétique du ruissellement dépend ici plus de sa vitesse d'écoulement et de sa charge solide totale que du volume d'eau lui-même. Plus la pente est longue et forte, plus les volumes ruisselés ont tendance à se départager en deux catégories par le fait qu'une partie des volumes diminue en s'étalant dans un réseau d'écoulement plus vaste et mal hiérarchisé alors que l'autre, au contraire, s'organise au travers d'un réseau plus organisé et se concentre pour accroître son énergie. C'est une situation paradoxale déjà observée par d'autres auteurs (LAL, 1976, ROOSE, 1967 à 1980, VALENTIN, 1978) dans laquelle les écoulements les plus faibles et les moins chargés ont des possibilités d'infiltration plus élevées car ils deviennent plus dépendants des propriétés hydrodynamiques du sol que de la pente elle-même. Quant aux écoulements les plus concentrés, même si leur volume en eau est peu important, leur énergie s'amplifie avec la pente pour creuser, arracher et briser les agrégats et les transporter hors de la parcelle. En général, lorsque la pente change, les formes d'érosion change. Dans certaines conditions de sol aux structures fragiles et fines, les pentes faibles peuvent occasionner de très forts taux de ruissellement et de faibles pertes après que les effets splash et les premiers ruissellements en nappe ont colmaté les pores de surface. En revanche, sur pente forte, la rugosité des sols est plus durable (effet du labour ou du binage) et les phénomènes d'encroûtement plus exceptionnels. Tout laisse à penser que la surface porale est plus importante et permet une plus grande infiltration sauf lorsque la pente hydraulique excède un seuil. Dans ce cas, les ruissellements se concentrent, charrient de la terre et accroissent l'érosivité ($E = \frac{1}{2} MV^2$).

Dans la région des contreforts du Mumirwa, nous pouvons confirmer qu'il existe des seuils d'inclinaison et de longueur de pente en dessous desquels la croissance de l'érosion (intraparcellaire) est faible ou nulle, même si les volumes d'eau ruisselée sont élevés et au-dessus desquels l'érosion s'accroît brusquement. On constate par exemple, les particularités suivantes:

- Peu ou pas de risque d'érosion si la parcelle cultivée est inférieure à 10-12 m de long, même en condition de pentes extrêmes. Un simple obstacle tous les dix mètres suffirait donc à empêcher tout transport de charges solides. Nos études ont en effet montré qu'une simple rangée d'herbe fixatrice réduit considérablement l'érosion de matière solide des parcelles allongées dans le sens de la pente.

- Pas ou peu de risque si la pente n'excède pas un seuil de 50 % et la parcelle 20 mètres de long. On peut considérer qu'il s'agit du seuil topographique optimal toléré. Au-delà les risques s'accroissent brusquement.

- Les longues parcelles continues sur pente excédant 50 % entraînent systématiquement un transport solide.

En se référant à certains auteurs (WISCHMEIER et al, 1958; WISCHMEIER, 1966; HUDSON, 1957-1973; ZING, 1940), nous admettons aussi que l'érosion et la longueur de pente peuvent plus varier d'une année à l'autre que d'un site à l'autre et que l'influence de la longueur sur le ruissellement est encore moins nette car elle est fonction de l'humidité préalable et de l'état de surface du sol.

Sur les bases de nos mesures et à titre d'exemple, les 120 tonnes mesurées sur la parcelle de manioc de 40 m de long correspondent à un décapage de 7,5 mm de l'horizon de surface ce qui est considérable pour le type de sol considéré⁵. A ce rythme, les dix à vingt cm de la couche arable de ces versants disparaîtront entre 13 et 25 ans s'ils sont cultivés en continu (rotation du manioc sur lui-même sans jachère). Cette même parcelle laissée en jachère enregistre 21,4 tonnes de perte soit encore un décapage de 1,5 mm. Dans le système du « manioc en friche », chacune des rotations quinquennales contribue à un décapage moyen de 2 cm de sol. La durée de vie de l'horizon organique est alors d'un demi-siècle seulement, ce qui est tout de même deux à quatre fois moins important qu'en régime intensif. Ce bilan ne tient pas compte de la baisse progressive de la fertilité du sol dont l'effet agit de plus en plus sur la diminution du couvert végétal due aux carences hydriques et minérales. Ce système de culture pratiqué est donc en partie adapté aux conditions extrêmes de ce pédopaysage, mais le rythme d'érosion observée nécessite qu'il soit amélioré d'urgence. Nous devons nous poser aussi la question de sa rentabilité au regard des productions très médiocres de manioc relevées sur nos essais (5,8 T/ha). Il s'agit plus d'une nécessité pour la famille paysanne que d'accumuler des surplus sur des terres « dites » marginales.

3.2 Données sur bassins versants élémentaires

3.2.1 Des processus d'érosion et d'accumulation complexes conditionnés par la morphologie du terrain

Nous venons d'analyser le comportement de l'érosion à l'échelle d'une parcelle, elle même quadrillée dans son contexte expérimental par des planches pour éviter toutes contaminations de l'amont. Mais qu'en advient-il lorsqu'il s'agit, à l'échelle d'un bassin versant élémentaire, de pentes dépassant 50, voire 100 mètres de longueur avec des variations dans sa morphologie et une hétérogénéité du milieu ?

Il est difficile d'estimer l'influence des formes d'un versant sur les processus d'érosion. Les multiples "visages" du paysage combinés avec les variations qualitatives des sols (rugosité et perméabilité) sont soumis à des phénomènes hydrologiques qui leur sont propres. En règle générale, la présence des pentes concaves et de replats de versant sont le lieu de colluvionnements sédimentaires et de piégeages de nutriments. Au contraire, la convexité et la régularité des pentes auxquelles il faut ajouter l'inclinaison sont des facteurs qui interagissent sur l'érosion. Des zones de décapage préférentiel et de ravinement (ou de glissements) coïncident avec les sites où plusieurs paramètres de milieu (texture et structure sensibles à l'érosion, plans de glissement ou discontinuités structurales et porales avec inversion des caractéristiques hydrodynamiques,...) interfèrent entre eux et accentuent les risques d'érosion. Cela revient donc à dire que la position dans la toposéquence est souvent plus importante pour l'érosion que le seul fait de l'inclinaison et de la longueur de pente ou du ruissellement. Nos études menées sur les deux petits bassins versants élémentaires le confirment tout à fait.

Ces deux bassins versants de 4 et 6,5 ha, situés dans l'escarpement à bananier du Mumirwa central sont représentatifs du pédopaysage de **Rushubi II**

⁵ La densité apparente moyenne des matériaux transportés est de 2 et celle de l'horizon de surface 1,28.

(facies des collines en « demi-orange » sur schiste pélitique de l'annexe 1). Les deux déversoirs avaient été proportionnés en fonction des résultats obtenus antérieurement sur les parcelles expérimentales de **Rushubi II**. C'était mal apprécier les mécanismes d'érosion et leur fonctionnement qui sont intimement liés à la diversité morphologique du paysage et à l'occupation du sol. Les résultats des pertes en terre et des ruissellements enregistrés sur plusieurs années ont en effet contredit tous les pronostics qui se sont avérés infiniment exagérés par rapport à la réalité.

Tableau 4 : Comparaison des pertes en terre et ruissellements annuels moyens des deux dispositifs expérimentaux (parcelles et bassins versants)

	Nombre d'années expérimentales (de 1987 à 1990)	Agressivité annuelle moyenne (Ram)	Pertes en terre annuelles moyennes en Kg/ha (A)	Ruissellement annuel moyen en % (KRam)
BV N°1 "Cirisha" (4 hectares)	2	475	108	0,065
BV N°2 "Nyarumpongo" (6,5 hectares)	2	408	33	0,03
Parcelles de 200 m ² cultivées (Rushubi II) *	4	536	4350	1,24

(*) Moyenne des parcelles de Rushubi II sur lesquelles ont été expérimentés du manioc sur buttes individuelles et du manioc sur billons isohypses associés ou non à des bandes de tripsacum d'1 m de large et équidistantes de 7 m.

Les écarts de l'érosion entre les deux échelles, de 60 pour les pertes en terre et de 30 pour le ruissellement, montrent que les pertes au champ sont infiniment supérieures (tableau 4). Elles ne sont pas extrapolables à l'ensemble d'un bassin versant. Dans le cas de nos deux bassins expérimentaux, leur morphologie, leur fonctionnement hydraulique, la différenciation de la fertilité naturelle des sols et la densité d'occupation sont autant de facteurs qui interagissent sur le comportement hydraulique des différentes unités élémentaires qui les composent. L'étude morpho-pédologique et hydrodynamique à l'échelle du 1/10 000^{ème} des deux bassins (DUCHAUFOR et PARTY, 1988) explique cette disparité (figures 7 à 11) :

- La forte occupation du sol dans les zones les plus fertiles où l'on observe une densité élevée avec 5 à 7 associations culturales différentes (figures 8 et 9). Cette densité est remarquable dans la concavité des pentes occupées surtout par une bananeraie dense et la colocase. Elle assure un excellent couvert végétal continu dans le tiers inférieur du bassin qui absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie.
- Au niveau du fonctionnement hydraulique, on constate une inversion des vitesses d'infiltration entre l'amont et l'aval en passant par un optimum à mi-parcours (figures 10 et 11). Une grande partie de l'eau de pluie s'infiltré en amont et circule dans les couches en profondeur pour alimenter la nappe phréatique des bas-fonds ou déboucher à la surface sous forme de source à l'extérieur des bassins.
- La fertilité des sols associée à ses caractéristiques morphologiques donne une bonne idée des processus pédogénétiques et érosifs qui se déroulent dans les bassins. On observe un début de dégradation des hauts de

bassin abrupts par appauvrissement physico-chimique (acidification, désaturation du complexe absorbant, apparition d'une toxicité aluminique) et enrichissement des thalwegs concaves à profil arrondi et des replats dans lesquels les pH (6 à 7,5), les concentrations organiques (5 à 8 %) et les CEC (>20 méq/100 g de terre, saturées) sont élevées (figure 7).

L'effet du changement d'échelle sur les pertes globales est évident, mais cela ne veut pas dire que l'érosion hydrique ne se manifeste pas. Même s'il est difficile de quantifier les pertes au niveau parcellaire, il est possible malgré tout de porter un jugement sur l'évolution de l'érosion des bassins. En se référant à la description des profils pédologiques et à leur analyse physico-chimique, nous avons ainsi constaté le réarrangement à l'intérieur même du système avec enrichissement à l'aval aux dépens d'un appauvrissement et d'une dégradation en amont :

- Erosion en nappe au niveau de l'arête sommitale (impluvium) repris très rapidement par l'érosion linéaire et le creeping sur les pentes fortes. Micro-glissements successifs et petites coulées boueuses (de quelques dizaines de mètres) favorisés par la faible profondeur de la roche mère en zone amont (figures 7 à 11).
- Accumulation organique avec saturation des complexes absorbants dans les replats et pentes concaves et baisse de fertilité sous cultures peu couvrantes dans le tiers supérieur des bassins (figures 7 à 11).

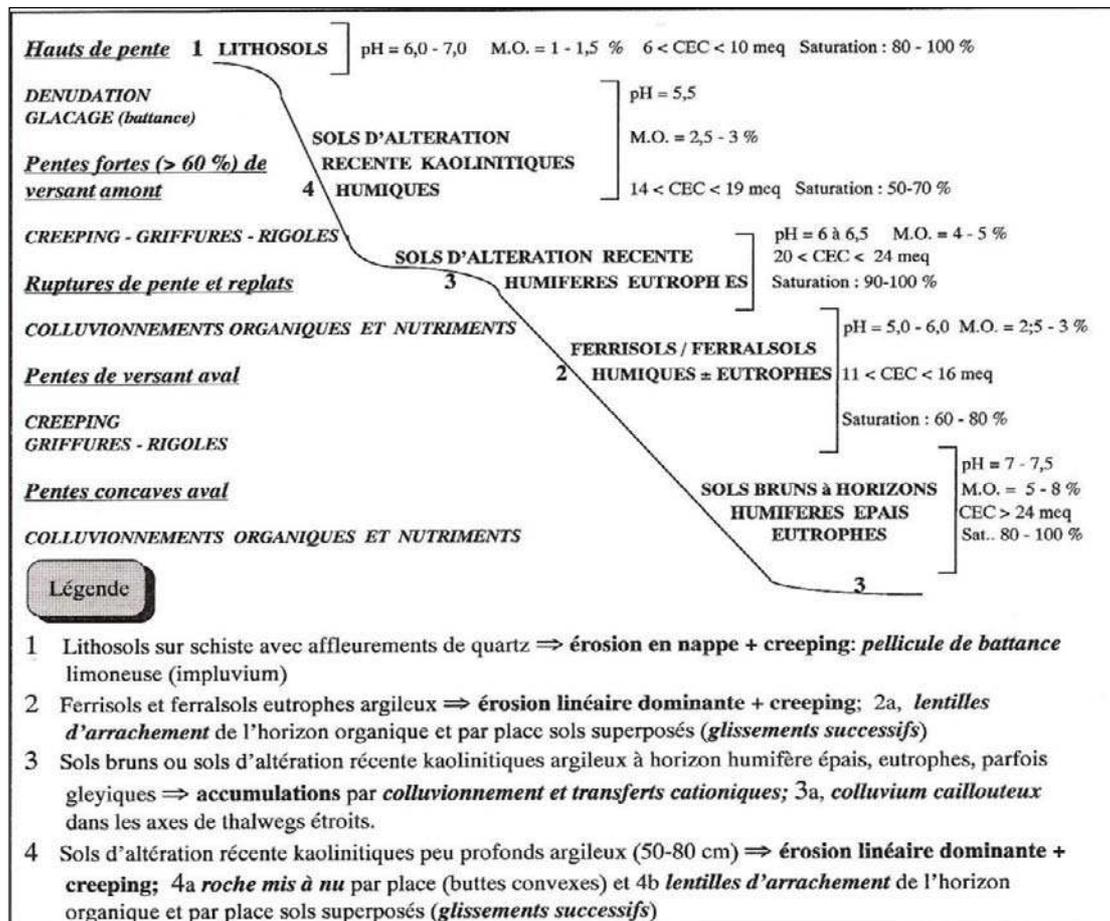
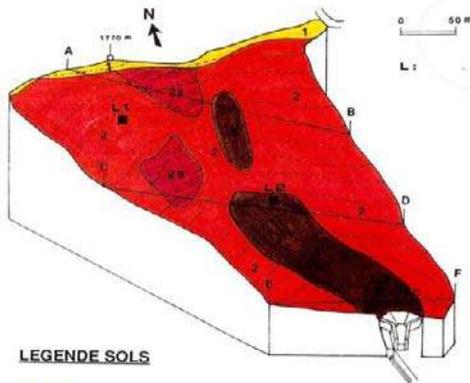
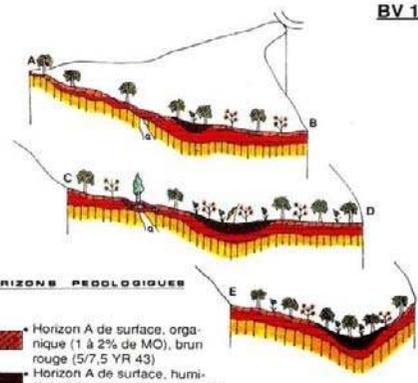


Figure 7 : Toposéquence géomorphopédologique du BV de Nyarumpongo (N²)



LEGENDE SOLS

- 1 - LITHOSOL à affleurements de QUARTZ en filons et SCHISTES
- 2 - FERRISOL anthropique, argilo-limoneux à structure polyédrique et prismatique
- 3 - idem 2, mais avec lentilles d'arrachement de l'horizon organique et par place, sols superposés (glissements successifs)
- 4 - FERRISOL humifère, à horizon humifère épais (80 - 100 cm), sous bananeraie dense



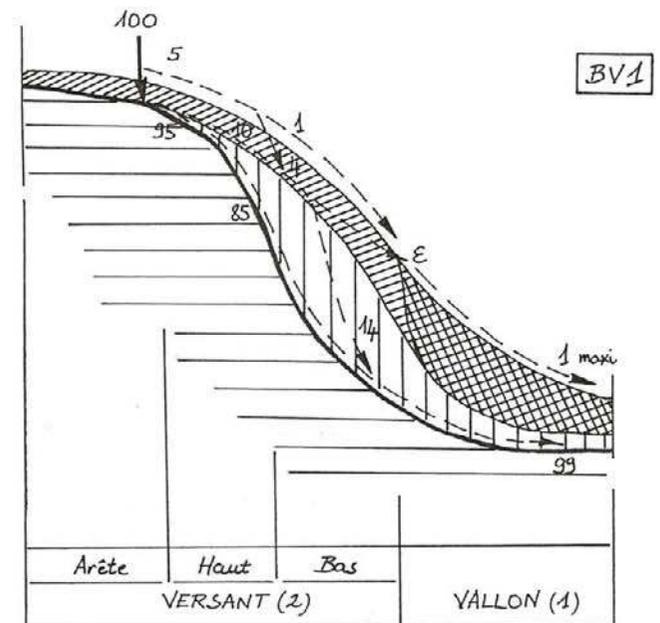
HORIZONS PEDOLOGIQUES

- Horizon A de surface, organique (1 à 2% de MO), brun rouge (5/7,5 YR 4/3)
- Horizon A de surface, humifère (2 à 4% de MO), brun noir (5 YR 3/2/3)
- Horizon A, très humifère (plus de 4% de MO), noirâtre (5 YR 3/1)
- Horizon B d'accumulation argileux (kaolinite), rougeâtre (2,5 YR 3/6 à 4/8)
- idem précédent, avec cailloutis de quartz (5 à 10 cm)
- Lentilles d'anciens horizons A enfouis, brun noirâtre (10 YR 2/2)
- Horizon C d'altération du schiste limoneux, jaunâtre (10 YR 5/8)
- Filons de quartzite

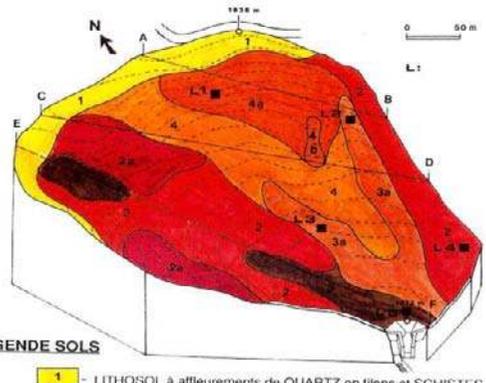
OCCUPATION DU SOL

- Bananiers
- Colocase
- Petit pois - Haricot
- Manioc
- Jachère boisée

Le rapprochement des symboles indique une végétation plus dense



BV1



LEGENDE SOLS

- 1 - LITHOSOL à affleurements de QUARTZ en filons et SCHISTES
- 2 - FERRISOL anthropique, argilo-limoneux à structure polyédrique et prismatique
- 3 - idem 2, mais avec lentilles d'arrachement de l'horizon organique et par place, sols superposés (glissements successifs)
- 4 - FERRISOL humifère, à horizon humifère épais (80 - 100 cm), sous bananeraie dense
- 5 - idem 3, mais sous colluvium caillouteux dans les axes de thalweg
- 6 - SOL d'évolution récente, sur schiste altéré et tacheté à faible profondeur
- 7 - idem 4, avec roche à nu par place (butes convexes) : LITHOSOL sur schistes
- 8 - idem 4, avec superposition de sols par places (glissements successifs)



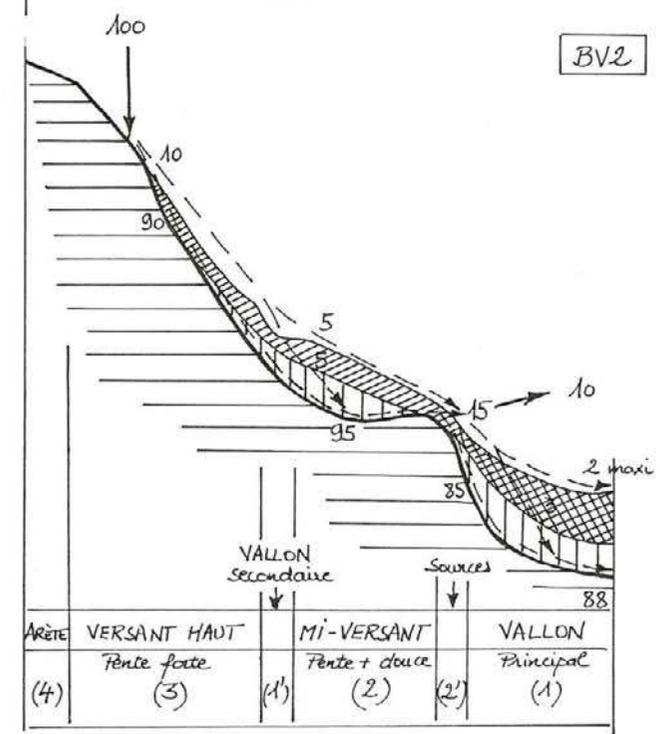
HORIZONS PEDOLOGIQUES

- Horizon A de surface, organique (1 à 2% de MO), brun rouge (5/7,5 YR 4/3)
- idem précédent, avec graviers de quartz (1 à 2 cm)
- Horizon A de surface, humifère (2 à 4% de MO), brun noir (5 YR 3/2/3)
- Horizon A, très humifère (plus de 4% de MO), noirâtre (5 YR 3/1)
- Horizon B d'accumulation argileux (kaolinite), rougeâtre (2,5 YR 3/6 à 4/8)
- idem précédent, avec cailloutis de quartz (5 à 10 cm)
- Lentilles d'anciens horizons A enfouis, brun noirâtre (10 YR 2/2)
- Horizon C d'altération du schiste limoneux, jaunâtre (10 YR 5/8)
- Filons de quartzite

OCCUPATION DU SOL

- Bananiers
- Colocase
- Petit pois - Haricot
- Manioc
- Patate douce
- Jachère boisée

Le rapprochement des symboles indique une végétation plus dense



BV2

Figures 8 et 9 : Fonctionnement des systèmes-sols en fonction de l'occupation du sol et de la géomorphologie et positionnement des dispositifs lysimétriques des deux BV de Cirisha (L1 à L3 : BV1) et Nyarumpongo (L1 à L5 : BV2)

Figures 10 et 11 : Conductivité hydraulique des horizons pédologiques et fonctionnement hydrique des deux BV

Depuis le démarrage du suivi expérimental des bassins en 1987, la densité du couvert s'est accrue considérablement. La bananeraie couvre au fil des ans, de plus en plus les parties sommitales et les hauts de pentes (de plus de 60 %) tandis que les systèmes culturaux ont tendance à se complexifier. L'étude de CHANTRAINE (1991) n'a pu montrer une cohérence entre les apports réguliers de compost-fumier et l'évolution des critères chimiques et physiques des parcelles. Cependant, il est probable que cette densification accompagnée de méthodes intensives (apports réguliers de fumure organique) contribuera dans le temps et dans l'espace à restaurer la fertilité des sites les plus dégradée et à maintenir le niveau de fertilité des zones les plus riches⁶. La densification culturelle des hauts de versant n'atténuera pas forcément les risques de glissements et de coulées boueuses. En 1991, nous avons observé que l'installation d'une simple bande herbacée (*Setaria*) a été à l'origine d'une coulée boueuse (20 à 30 mètres). La bande d'herbe a freiné le ruissellement et accentué l'infiltration ce qui a engendré une saturation en eau au contact du plan de glissement (cf. profils hydrodynamiques des figures 10 et 11) et un déferlement de boue lorsque la limite de liquidité a été atteinte. Il est donc important de considérer également le type de végétation (arbres à enracinement pivotant profond tels que les eucalyptus, *Grevillea* et *Cedrela* en système cultivé, etc..) afin de diminuer les risques de ce genre.

Retenons avec l'exemple de ces bassins versants que, dans le contexte du pédopaysage de *Rushubi II*, les zones à forte perméabilité correspondent aux pentes les plus fortes et aux sols les plus fragiles au décapage (sols d'altération récente kaolinitiques à horizon organique concentré en surface des figures 7 à 9). Bien que cette perméabilité soit à l'origine de circulations hypodermiques favorisant les risques de glissement et de lessivage des nutriments, elle a au moins le mérite de favoriser l'infiltration, d'alimenter en eau les plantes et par conséquent d'atténuer les concentrations de ruissellement en surface.

En pratique, sur le terrain, les multiples variations du facteur topographique sur les phénomènes d'érosion remettent en cause la généralisation des techniques anti-érosives qui ont été appliquées sans discernement quelle que soit la forme du paysage, la nature du sol et le couvert végétal. Si des mesures anti-érosives se justifient dans bien des cas, les techniques à utiliser ne peuvent quant à elles être limitées à une ou deux seulement. La protection par le couvert végétal a lui aussi de multiples façons d'être utilisé pour intervenir efficacement sur le ruissellement en nappe et rigole et la restauration des sols. La diversité et la densité du couvert biologique observée sur les deux bassins versants ont une incidence globalement positive sur leur fonctionnement écosystémique puisqu'elles contribuent grâce au couvert protecteur à la redistribution des ruissellements et des éléments solides à l'intérieur même du périmètre des bassins versants ; elles participent en outre implicitement et indirectement à la restauration de la fertilité des terres.

⁶ Aujourd'hui, une vingtaine d'années après, il resterait à vérifier l'incidence de cette densification culturelle sur l'évolution physico-chimique des sols.

3.2.2 Evaluation qualitative des pertes par écoulements hypodermiques

En 1988, un suivi lysimétrique simplifié (figures 8 et 9) a été installé sur les bassins expérimentaux de Cirisha et de Nyarumpongo (DUCHAUFOR et PARTY, 1988) qui représentent des sites idéaux pour évaluer en milieu réel les pertes de nutriments par drainage et lixiviation. La collecte des eaux de lessivage (figure 12) nous permet d'apprécier leur concentration et d'avoir une idée, plus qualitative que quantitative, des transferts cationiques à l'intérieur du bassin avant d'être évacués à l'extérieur après chaque pluie. Les pluviollessivats sont récupérés au contact des horizons organiques et des horizons minéraux (35 à 50 cm de profondeur) soit légèrement en-dessous de la plus forte densité racinaire des principales cultures vivrières. Nous donnons les résultats en kg/ha de sol drainé pour une campagne de mesure (88-89) sur chacun des bassins versants étudiés (tableau 5) en admettant, comme hypothèse, que les flux latéraux et verticaux sont constants de part et d'autre du dispositif et que les lysimètres ne constituent pas un cône de drainage préférentiel (excepté les lysimètres N°2 de s deux bassins).

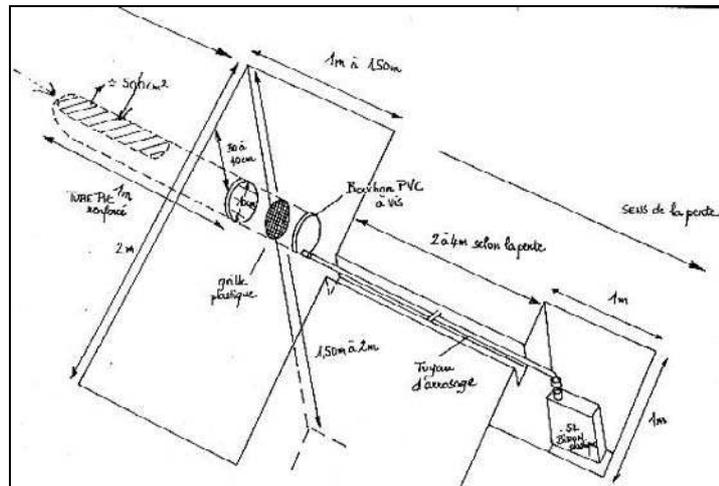


Figure 12 : Dispositif lysimétrique adopté sur les Bassins versants expérimentaux de Cirisha et Nyarumpongo.

Pour des facilités de suivi et de collecte, les analyses n'ont porté que sur les cations basiques qui restent stables dans le temps. Etant donné l'imprécision de la méthode de collecte sur le terrain, ces valeurs ne sont données qu'à titre indicatif.

En comparant les pertes des écoulements hypodermiques des bassins versants avec celles de l'érosion de surface des parcelles cultivées de **Rushubi II**, nous constatons que les valeurs sont en général de 5 à 10 fois inférieures pour le calcium et le magnésium et légèrement supérieures pour le potassium. Les pertes enregistrées par les lysimètres N°2 (BV1) et N°3 (BV2) sont encore plus significatives. Elles correspondent à la moitié du transport de chaux en surface et au double voire au triple de la magnésie et de la potasse entraînées par le ruissellement de surface. Ces deux lysimètres, disposés dans une dépression concave de pente, récupèrent un maximum de volume d'eau à concentration à peu près égale aux autres pluviollessivats. Ces sites d'écoulements hypodermiques préférentiels sont en quelque sorte les drains naturels des 2/3 supérieurs des bassins et débouchent dans les zones d'accumulation en contrebas.

Tableau 5 : Résultats des pluviollessivats des bassins de CIRISHA et de NYARUMPONGO

BASSINS VERSANTS	N° Lysimètre	CaO MgO K ₂ O			Matière en susp.	Ecoulement hypodermique annuel	
		en kg/ha/an				en kg/ha/an	pH moy.
Campagne 88-89 (pluviométrie)	(Cf. figure en annexe 1)						
B.V. N°1 CIRISHA (1535)	N°1	5,4	2,6	3,2	970	6,6	14,5
	N°2	25,4	24,0	7,9	2170	6,6	45,0
	N°3	4,2	2,2	3,4	345	7,0	3,1
B.V. N°2 NYARUMPONGO (1570)	N°1	8,3	11,0	3,2	350	6,6	27,0
	N°2	9,2	7,8	1,3	115	7,0	10,2
	N°3	27,5	15,9	10,2	215	7,3	22,0
	N°4	3,8	3,1	0,71	50	7,1	3,3
	N°5	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1 000 mm de PLUIE *		4,2	2,0	4,7	0	6,8	

* Les sources d'erreur peuvent être importantes en raison des faibles concentrations mesurées par échantillon d'eau (degré de précision insuffisant), des méthodes de collecte et des diverses pollutions extérieures (poussières). Nous avons préféré de ne pas en tenir compte sur le plan du bilan des importations / exportations. Néanmoins, il faut considérer que la pluie, qui récupère la poussière de l'atmosphère, n'est pas entièrement déminéralisée.

Le résultat à la fois intéressant et logique concerne la concentration en meq/litre des pluviollessivats qui augmente progressivement de haut vers le bas. Plus le sol est riche en nutriments, plus la solution du sol est élevée, celle-ci variant d'un facteur de 2 à 6 suivant la nature de l'élément. Le lessivage des cations suit donc une logique irréfutable déjà analysée auparavant laquelle est déterminée par l'enrichissement des zones concaves et des bas de versant et par la dégradation physico-chimique des hauts du bassin par acidification, désaturation du complexe échangeable, toxicité aluminique et appauvrissement organique. Les éléments cationiques provenant du lessivage de la partie sommitale sont redistribués à l'intérieur même des bassins versants, plus exactement au niveau des replats ou au confluent des petits vallons dans lesquels les sols ont accumulé de forte épaisseur de colloïdes (argiles et composés humiques des sols bruns isohumiques eutrophes de la figure 7). Avec leur faible porosité en surface (caractère gleyique) et leur fort pouvoir d'adsorption, les solutions du sol ont tendance à se concentrer et les pertes par lixiviation à diminuer quantitativement malgré les fortes concentrations enregistrées. Il n'est donc pas étonnant d'y trouver les meilleurs sols du pays caractérisés d'une accumulation de plus d'un mètre de matière organique d'une teneur moyenne de 5%, d'une CEC totale de 30 meq/100gr. saturée entre 80 et 85% avec des concentrations exceptionnelles de potasse, calcium et magnésium. Ce type de sol, localisé à ces sites particuliers du pédo-paysage de **Rushubi II**, est fréquent dans le Mumirwa. Ces sols sont occupés par une bananeraie dense à colocase dont les productions, toujours élevées, n'ont jamais cessé de diminuer.

Les sources (BV2, analyse en annexe 2) et les circulations en grande profondeur (> 1,3 m) qui alimentent la nappe phréatique sont les principaux exutoires souterrains de ces bassins versants élémentaires.

3.2.2 Les tests de stabilité structurale et les limites d'Atterberg indiquent de bonnes propriétés mécaniques des sols argileux

Si les résultats obtenus sur parcelles WISCHMEIER donnent une bonne appréciation de l'érodibilité de différents sols du pays, la reproductibilité de ce type d'expériences, reste en revanche onéreuse, contraignante et surtout incomplète pour estimer toute la diversité des milieux et des sols ainsi que leur résistance et leur comportement à l'érosion dans le contexte du relief burundais.

Différents tests, faciles à réaliser en laboratoire, peuvent venir compléter le dispositif de mesure de l'érodibilité des sols. Il s'agit en premier lieu du test de stabilité structurale de HENIN qui détermine la résistance des agrégats soumis à différents tests de mouillabilité et de cohésion selon un mode opératoire précis en présence de trois liquides dispersants (eau, alcool et benzène). D'après VALENTIN (1989, cité par ROOSE, 1994), l'indice de stabilité structurale est en bonne relation avec les pertes en terre et la résistance du sol à l'état sec ou peu humecté par les pluies (début de saison des pluies). Le deuxième test réalisé in situ consiste en la mesure de la perméabilité laquelle est d'autant plus faible que la structure est moins favorable (cf. figures 8 et 9). Les limites d'ATTERBERG quant à elles conviennent mieux pour évaluer la résistance des sols humides de fin de saison de pluie car elles définissent les teneurs en eau qui caractérisent les changements d'état d'un sol et leurs différents domaines de consistance (dure, friable, plastique et liquide) qui varient dans de larges limites avec d'une part la quantité d'eau interstitielle que contiennent les pores du sol et d'autre part l'épaisseur des couches d'eau absorbées qui enrobent les grains.

Les analyses (test de stabilité structurale et limites d'Atterberg) effectuées sur quelques échantillons prélevés dans les deux bassins versants (sols d'altération récentes kaolinitiques et ferrisols argileux anthropiques et humifères, figure 13) montrent de très bonnes qualités physiques des terres qui caractérisent le pédopaysage de **Rushubi II** :

- Une structure très stable pour tous les horizons de surface testés (6),
- Une bonne aptitude du matériau au travail du sol l'indice de plasticité variant de 10 à 15% et facilités d'intervention culturale du fait de l'éloignement important de l'humidité équivalente (He) de la limite de plasticité située entre

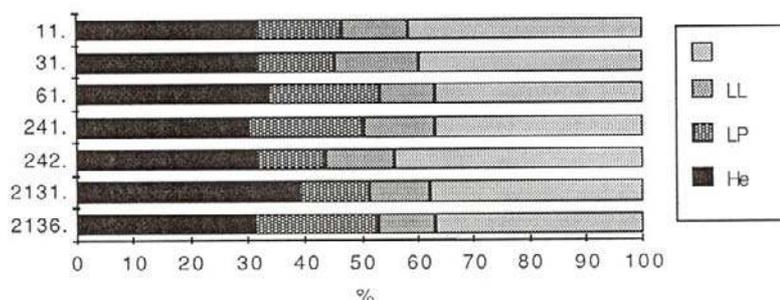


Figure 13 :
Résultats des limites d'Atterberg effectuées sur cinq échantillons des deux BV

des plages d'humidité de 15 et 25 % (DUCHAUFOR et PARTY, 1988). Il faudrait une saturation en eau supérieure de 40 à 80 % à l'He pour limiter les interventions culturales et atteindre la limite de plasticité et une saturation double vis-à-vis de He pour atteindre la limite de liquidité.

Ce dernier cas n'intervient qu'exceptionnellement en cas de sursaturation des horizons liée à certains aménagements mécaniques inadaptés qui favorisent l'emmagasinement de l'eau et empêchent son drainage latéral (fossés isohypses aveugles, canaux de contours cloisonnés).

Conclusion

Au niveau du protocole de recherche : Le protocole de Wischmeier expérimenté entre 1977 et 1995 dans cinq stations représentatives du Burundi s'est révélé un processus de recherche long et coûteux. Ces données désormais acquises pour le pays peuvent être couplées avec différentes études de cartographies détaillées de la couverture morphopédologique mais aussi avec la connaissance précise des profils structuraux (stabilité structurale, détermination des domaines de consistance par plage d'humidité, évolution du profil structural dans le temps, analyse du profil hydrodynamique avec test de perméabilité par horizon), du taux de matière organique et de son turn over, des teneurs de fer et alumine libre et du type d'argile. L'analyse de toutes ces données permettrait de mieux apprécier le fonctionnement de l'érosion en nappe et rigole qui sévit dans le pays.

Au niveau des mécanismes observés : L'érosion et le ruissellement modifient plus ou moins progressivement les propriétés physico-chimiques du sol par sélectivité des éléments fertiles ou par transport des colloïdes et des micro-agrégats. Par ailleurs, plus le sol a son potentiel concentré en surface, plus rapidement il perdra sa potentialité. Lorsque nous savons que l'érosion peut atteindre en une année plus de 150 tonnes sous couvert très peu protecteur, on imagine bien que la situation devient critique. On peut donc se poser la question si les observations et les calculs réalisés en station et qui respectent les itinéraires classiques du milieu rural, se généralisent dans la colline et si c'est le cas, comment se fait-il que les familles arrivent encore à s'autosuffire ?

Pour avoir un impact positif sur la productivité des terres, il apparaît évident qu'il faut aujourd'hui orienter les interventions sur les terres où les pertes de production sont compensées par l'emploi d'intrants à doses modérées mais régulières. La différenciation d'un sol à l'autre s'avère donc importante sachant que le travail de conservation et de restauration peut demander soit de simples mesures à la portée de la plupart des familles rurales avec des rendements immédiats à la clé ou au contraire des moyens plus onéreux mais pas forcément durables sur le plan agronomique.

Là encore, les familles rurales burundaises sont les meilleurs experts de leur terre. Ils connaissent le comportement de leur sol et savent comment il réagit par rapport à une culture déterminée et à différentes doses de fumure organique. L'accroissement de la rentabilité des terres par la valorisation de la production agricole est entre les mains de chacun d'eux à condition de leur donner les moyens de produire mieux.

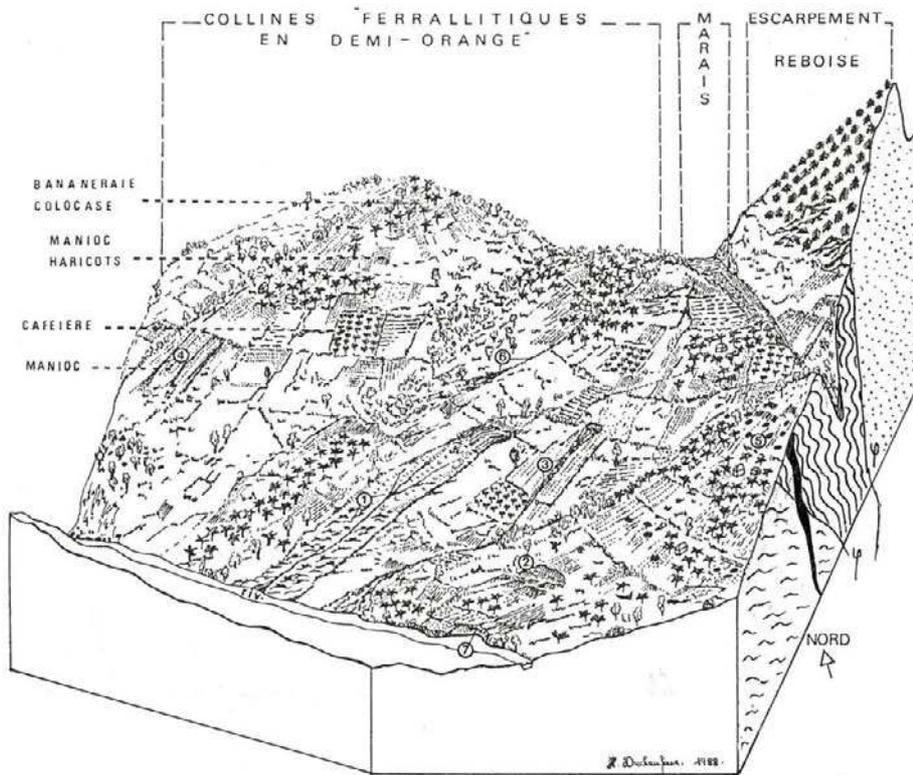
BIBLIOGRAPHIE

- BOLLINE A., ROUSSEAU P. 1978.** Erodibilité des sols de moyenne et haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte en terre. *Bull. Soc. Géog. de Liège* 14, 4, 127-140.
- CHANTRAINE V. 1991.** Identification du fonctionnement agronomique du bassin versant de Nyarumpongo ; Bassin Versant de la Ntakangwa. *ISABU & Paris VI.*
- COCHET H. 1993.** Etude sur la dynamique des systèmes agraires au Burundi. *Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, ADEPRINA, Juin 1993.* 200 p.
- DUCHAUFOR H., BIZIMANA M., LEBRETON M., MIKOKORO C. & BARANCIRA O. 1991.** Rapport annuel 1989-1990. *Partie Erosion, ISABU. Bujumbura-Burundi.*
- DUCHAUFOR H., PARTY J.P. 1988.** Etude de la conservation des eaux et des sols dans le Mumirwa. Cas de deux bassins versants - Commune d'Isale, *Mission d'Appui Technique à l'ISABU*, 42 p. + annexes + planches couleurs.
- DUCHAUFOR H. 1995.** L'érosion hydrique et la dégradation des sols au BURUNDI: incidence sur l'économie rurale et paysanne. Projet de Recherche pour la Protection de l'Environnement de l'Institut des Sciences Agronomiques du BURUNDI. 184 pages + annexes. ISABU, Bujumbura (BURUNDI)
- DUCHAUFOR Ph. 1991.** Pédologie. Sol, végétation, environnement. 3e édition. 289 pages.
- DUMAS J. 1965.** Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. *Cah. ORSTOM Pédol.* 3 (4) : 307-333.
- HUDSON N.W., JACKSON D.C. 1959.** Results achieved in the measurement of erosion and runoff in Southern Rhodesia. In : *C.R. 3er Inter African Soils Conf. Dalaba, section 2* : 1-15.
- HUDSON N.W. 1973.** *Soil Conservation. Batsford, London.* 320 p.
- KUNTZE (H.), ROESCHMANN (G.), SCHWERTFEGER (G.), 1988.** *Bodenkunde Ulmer Verlag, Stuttgart,* 568 p.
- OPDECAMP L. 1988.** Mécanismes de pédogenèse acide dans les régions agropastorales d'altitude du Burundi. Publication ISABU N° 127. 13 pages.
- OPDECAMP L., MUSONI I., et GOURDIN J. 1988.** Effets stimulants et toxiques de l'aluminium sur la croissance des plantes cultivées dans les sols humifères acides du Burundi. Publication ISABU N° 129. 26 pages.
- PAULTRE V. 1992.** La sous-région agricole du Mumirwa central, Diagnostic et alternatives de développement. *Mémoire pour l'obtention du diplôme de Mastère en Politique, Programmes et Projets de Développement Agricole et Rural. Chaire d'Agriculture Comparée, INAPG., Paris.*

- POESEN J. 1990.** Influence des éléments grossiers sur la génèse du ruissellement : effet de leur position à la surface et degré de couverture. *Communication à la 7ème réunion du réseau Erosion à Montpellier, Sept.* p.67.
- ROOSE E. & SARRAILH J.M. 1989 .** Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cah. Spec. ORSTOM 1-2 : Erodibilité des sols.* 34 p.
- ROOSE E. 1967.** Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa Sénégal *Agron. Trop.* 22(2) : 123-152.
- ROOSE E. 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologique de la FAO 70. 420 pages.
- SINGER M.J., BLACKARD J., JANITSKY P. 1980.** Dithionite iron and soil cation content as factors in soil erodibility. In : *Assessment of Erosion.* De Boodt et Gabriels (eds.). John Wiley. pp. 259-268.
- VALENTIN C., JANEAU J.L 1989.** Les risques de dégradation structurale de la surface des sols en savane humide de Côte d'Ivoire. *Cah ORSTOM Pédol.* 251 : 41-52.
- WALEFFE S. (1965).** Etude géologique du Sud-Est du Burundi.
- WISCHMEIER W.H. , SMITH D.D. 1990.** An universal soil-loos estimating equation to guide conservation farm planning. *7th intern. congr. Sol Science. Vol. 1,* p. 418-425.
- WISCHMEIER W.H. 1959.** A rainfall erosivity index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23 : 246-249.
- WISCHMEIER W.H. 1966.** Surface runoff in relation to physical and management factors. *Proc. 1st Pan am. Soil Cons. Congress Sao Paulo, Brazil.* pp. 237-244.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. 1960.** A Universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Proc. 7th Inter. Congress. Soil Science Soc. Vol. 1 :* 418-425.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. 1978.** Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning USDA. Agriculture Handbook n°537, 58 pages.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., UHLAND R.E. 1958.** Evaluation of factors in the soil loss equation. *Agron. Eng.* 39(8) : 458-462 et 474.
- ZINGG A.W. 1940.** Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff. *Agric. Eng.* 21 : 59-64.

Annexe 1

Géologie, occupation des sols et figures d'érosion dans la région d'Isale (Mumirwa central) (in Duchaufour et Party, 1988).



SUBSTRATUM GEOLOGIQUE

- Formations pélitiques, schistes et phyllades par endroits graphiteuses, avec intercalation de quartzites et quartzophyllades
- Formation arénacée, schistes grès-quartzitiques, quartzites, quartzophyllades, quartzites conglomératiques
- Micaschiste et paragneiss, amphiboloschiste
- Gneiss, granitoïdes gneissiques, gneiss amphiboliques, migmatites
- Intrusions basiques
- Granites à texture mylonitique

FIGURES D'EROSION

- ① - Coulée de solifluxion (ex. colline de Mbare, mi-Mars 1988)
- ② - Loupe de glissement
- ③ - Tête de ravine avec érosion régressive
- ④ - Rigole d'érosion sur parcelle à monoculture de manioc
- ⑤ - Dénudation par érosion différentielle sur formations arénacées -> chaos rocheux
- ⑥ - Dissection des formes concaves par ruissellement concentré. Accentuation du phénomène si présence de sentier dans le sens de la pente
- ⑦ - Affouillement de berge

NB : L'érosion en nappe, plus diffuse, n'est pas représentée sur ce schéma

T h è m e 6

Aspects socioéconomiques de la lutte antiérosive

La perception des risques et des moyens de lutte antiérosive par les paysans est fondamentale pour concevoir des systèmes de production équilibrés acceptables.

L'histoire de la mise en valeur des terres, la culture paysanne (agriculteurs ou éleveurs), les échecs et les conséquences socio-économiques de l'érosion, la pression démographique et les relations avec les marchés où écouler les produits sont autant de facteurs dont il faut tenir compte pour aménager et valoriser durablement un terroir ou un bassin versant.

La proximité des villes et des marchés modifie la possibilité de vente d'un excès de production rurale mais permet aussi de récupérer les déchets des consommateurs urbains.

Enfin le marché du travail, la taille des familles, les moyens financiers et mécaniques disponibles vont avoir une influence sur le choix des systèmes de production et sur les aménagements antiérosifs.

Perception paysanne de la dégradation des terres et des types d'érosion : impacts des programmes de LAE sur la restauration de la productivité des sols à Madagascar

Simone Randriamanga RATSIVALAKA

Université d'Antananarivo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie,
BP 907 Ankatso, 101 Antananarivo Madagascar
Courriel : baratsiv@moov.mg

Résumé

Le paysan des Hautes Terres malgaches a su mettre en œuvre des techniques de gestion et de conservation de son terroir face aux contraintes du milieu. Conscient de l'état de dégradation de celui-ci, perçu à travers les variations du milieu naturel, le paysan « vit » avec l'érosion et s'est servi de techniques simples pour la gérer. Il a bénéficié des projets de développement agricole dans l'amélioration de la production des terres aménagées, celle de conservation ou de restauration des sols. Il adhère aux techniques modernes en général. Mais leur pratique est souvent limitée dans le temps, ponctuelle et demeure à l'état d'expérimentation. Ces actions souffrent en outre de l'instabilité politique. Ce qui explique les résultats mitigés quand elles sont mises en œuvre dans l'amélioration des conditions de vie à la campagne. Quant au paysan, il est constaté qu'il ne peut pas être livré à lui-même. Son plus grand handicap réside dans l'insuffisance de ses moyens financiers et techniques. La meilleure stratégie de développement préconisée commence alors par une véritable éducation des ruraux pour les rendre autonomes et réellement aptes au développement.

Mots clés

Madagascar, Sol, Dégradation, Types d'érosion, LAE, Développement rural, Perception paysanne

1. Introduction

Les composantes paysagères des Hautes Terres malgaches sont constituées de quatre éléments principaux : le bas fonds, toujours humide à cause de la proximité de la nappe phréatique et des sources, est voué à la riziculture irriguée. Les terrasses alluviales et les bas de pente à sols de colluvions sont occupés par la riziculture et les cultures maraîchères. Les « *tanety* » ou flanc de colline constituent la zone de pseudo steppe et de cultures pluviales. Le sommet des collines est réservé au reboisement et à la forêt (Photo 1).

Le paysan a su s'adapter aux contraintes naturelles qu'offre chacune de ces entités paysagères en aménageant et en occupant les parcelles les plus fertiles. De nombreux programmes de gestion, conservation ou restauration des sols, confessionnels, non gouvernementaux ou étatiques se sont inspirés des pratiques paysannes pour améliorer les techniques agricoles. Tel est le cas des « *tatatra* » ou canaux utilisés pour protéger les cultures des effets de l'érosion. Ils ont inspiré l'utilisation des fossés de garde et d'infiltration contre le ruissellement sur les versants et l'inondation des cultures des bas fonds. Cette technique permet en outre la formation d'une couche humifère. Mais face aux résultats parfois mitigés, le bilan des actions semble ne pas avoir atteint le développement escompté alors que tout fut mis en œuvre pour la réussite des projets. Les résultats des campagnes de vulgarisation agricole menées par l'Etat dans les années 80 par exemple n'ont atteint

leurs objectifs qu'à 50% en général. On s'interroge si le fait d'appréhender la perception paysanne de son milieu en particulier l'érosion, ses impacts et les diverses tentatives d'amélioration de la production pourrait contribuer à un meilleur développement des campagnes ?



Photo. 1 : Les composantes paysagères des Hautes Terres malgaches
Cliché C. Puech, Source : Ratsivalaka et al, 2007

Différents sites pris sur les Hautes Terres sont étudiés. Outre leur appartenance à des milieux montagneux (alt>1000m), ces sites ont pour points communs d'être ou d'avoir été une zone végétalisée ayant connu des formes de dégradation plus ou moins intenses entraînant érosion et épuisement des sols : secteur de la cuvette intramontagnarde d'Andapa et environs situé dans le Nord Est de Madagascar ; Régions Alaotra, Mangoro, Analamanga et Vakinankaratra, sur les Hautes Terres centrales, le Moyen Ouest et la falaise orientale de l'île. Tous ont fait l'objet d'actions de développement, de conservation ou de restauration de la fertilité des sols.

Les données ici reportées sont les résultats des enquêtes, observations, analyses et mesures sur les sites d'étude.

2. Le paysage agricole des Hautes Terres malgaches

La **riziculture** représente l'activité prépondérante du paysan, suivie des cultures pluviales : manioc, patate douce et maïs. Elle est surtout pratiquée dans les bas fonds ; le rendement demeure faible, en moyenne 1,5 à 2t/ha/an de paddy. Les techniques sont restées traditionnelles et rudimentaires. Les travaux débutent par le labour et la préparation des pépinières qui sont pratiqués à la même période. L'*angade* ou bêche est utilisé pour retourner les mottes de terre ainsi que quelques petits matériels agricoles : charrue poussée par l'agriculteur ou herse tirée par un bœuf. Suivent l'épandage manuel des fumiers organiques en provenance du zébu, mélangés à de la paille, l'irrigation et le piétinement de la rizière par les bœufs.

Le système d'irrigation est très précaire. Les canaux de fabrication artisanale (Planche 1) sont très vulnérables aux crues et à l'ensablement. L'utilisation des engrais minéraux est quasi nulle à cause de leur prix et l'absence de vulgarisation. Après avoir séjourné deux mois en pépinière le riz est repiqué généralement « en foule » rendant difficile l'utilisation d'une sarceuse. Le désherbage se fait à la main.

La variété la plus cultivée est en général le riz rouge. Le riz est essentiellement destiné à la consommation. Une partie du paddy peut cependant être vendue pour subvenir aux besoins des ménages en produits de première nécessité (PPN) et financer les cultures maraîchères.



Planche. 1 : Rizières des Hautes Terres et canal d'irrigation

Source : Ratsivalaka et al, 2007 et Randriamanga et al 2005

Les **cultures maraîchères** (tomates et légumes de contre saison : pomme de terre, petits pois), sont aussi pratiquées dans les bas fonds. Elles sont destinées à la vente et constituent les seules sources de revenu permanent du paysan. Ce dernier y consacre beaucoup de soin. Les terrasses maraîchères sont situées sur les bas de pente ou sur les têtes de vallon. Leur sol est en général pauvre. C'est pourquoi ils bénéficient **d'engrais organiques** pouvant atteindre 20t/ha et **d'engrais minéraux**. L'usage de **la cendre** en provenance du brûlis des bois morts et des branchages d'*Eucalyptus* est aussi une technique pratiquée pour fertiliser le sol. Le paysan y cultive les brèdes et les légumes principalement : chou de chine, chou fleur, poireau, carotte destinés à la vente. Ce sont les hommes qui construisent la terrasse, les femmes et les enfants s'occupent de l'arrosage et du désherbage.

Les **cultures de contre saison** occupent la rizière après la récolte du riz. Le paysan cultive en général la pomme de terre et le haricot. Les cultures de contre saison ne sont pas encore très répandues à cause des investissements nécessaires pour les semences et aussi par ce que les techniques ne sont pas tout à fait maîtrisées.

Les **cultures pluviales** (manioc, arachide, maïs) occupent les versants qui ne sont pas aménagés en terrasses même sur les pentes raides. La préparation du terrain est faite au début de la saison pluvieuse. Le paysan utilise la bêche pour le labour. Il n'y a pas d'apport de fertilisant faute de moyens alors que les sols sont en général médiocres. Les rendements moyens sont faibles et varient autour de 6000 kg/ha pour le manioc et 4000 kg/ha pour la patate douce selon les enquêtes. Une jachère de 2 à 4 ans est pratiquée dès que le sol est épuisé. *Les canaux placés en amont du champ*, sont les seuls moyens de lutte utilisés contre le ruissellement. Aucun soin particulier n'est apporté aux cultures.

La forêt ou le reboisement d'Eucalyptus occupant le sommet des collines ne fait l'objet d'aucun soin spécifique.

L'élevage bovin est utilisé pour l'exploitation agricole : traction de charrettes et charrue, piétinement des rizières, production de fumier. L'élevage porcin est un placement pour les grandes occasions : mariage, jour de l'an. Les poules, les canards et les oies procurent un complément de revenu appréciable et permettent de faire face aux imprévus.

L'artisanat est une activité temporaire car la matière première n'est pas disponible en toute saison. Les femmes confectionnent les nattes et les paniers, les hommes se réservent la menuiserie et la maçonnerie.

Tableau 1. Les activités paysannes dans le bassin versant de Sahasarotra

Activités	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Riziculture	■	■■■	■	■■■	■■■	■	■	■■■	■■■	■	■■■	■■■
Cultures maraîchères	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cultures pluviales	■■■	■■■	■	■	■	■	■	■	■	■	■■■	■■■
Culture de contre saison	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Récoltes	■	■	■	■	■	■■■	■■■	■■■	■	■	■	■
Vente des produits agricoles	■■■	■	■	■	■	■■■	■	■	■■■	■	■	■
Transport des produits par car brousse ou camion	■■■	■	■	■	■	■■■	■	■	■■■	■	■	■
Transport des produits par charrette	■	■	■	■■■	■■■	■	■	■■■	■■■	■	■	■■■
Production de charbon de bois	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Reboisement	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Périodes de : surcharge ■■■, charge moyen ■■ ou charge faible ■ de travail

Les exploitations agricoles sont essentiellement familiales ou individuelles ou par métayage ou fermage. Ce mode de faire valoir indirect, permet au propriétaire de valoriser ses terres sans aucun investissement et le protège d'éventuels aléas climatiques. L'appropriation des terres se fait la plupart du temps par héritage. Ce qui est cause de leur grand morcellement en relation avec la forte pression démographique. A cela s'ajoute l'exiguïté des bas fonds d'où l'existence des paysans sans terre obligés de louer leur rizière ou de quitter leur terroir pour vivre en ville.

3- Perception paysanne de la dégradation des terres et des types d'érosion

Le paysan est en général conscient de l'état de dégradation de son terroir qu'il perçoit à travers des variations du milieu naturel : tarissement des sources et ensablement des bas fonds... Plusieurs causes reviennent souvent entre autres : les variabilités climatiques qui entraînent des perturbations dans les pratiques culturales.

L'arrivée tardive des pluies remet en cause le calendrier culturel. La chute de la production agricole qui en résulte a pour effet d'aggraver les problèmes

économiques déjà existants renforçant ainsi l'appauvrissement à la campagne. Le paysan est alors obligé de s'adapter à l'érosion et de gérer la fertilité des sols de façon plus ou moins aléatoire et notamment de changer ses habitudes culturales et son système de gestion de l'eau.

Le paysan « vit » avec l'érosion et utilise des techniques simples pour la gérer. Il a mis au point un *système de captage des eaux de source pour l'irrigation* qui consiste à capter la source en amont et à entraîner l'eau sur la terrasse par un système gravitaire. Il a développé *un réseau de canaux de protection des rizières* et parcelles de culture en amont pour détourner le ruissellement et arrêter l'ensablement des bas fonds. Il *utilise divers intrants et des engrais organiques et minéraux* pour gérer la fertilité des sols sur les terrasses. Face aux variabilités climatiques actuelles, il s'est adapté par *l'utilisation de semences plus appropriées*. Mais certaines pratiques ont des effets négatifs tel l'usage de l'Eucalyptus pour le charbon de bois (Photo 2). Faute d'arbres le paysan se sert des taillis au risque de gêner la régénération naturelle.



Photo. 2 : Forêt, bois d'Eucalyptus et four à charbon dans le bassin versant de Sahasarotra

Source : Randriamanga et al 2005

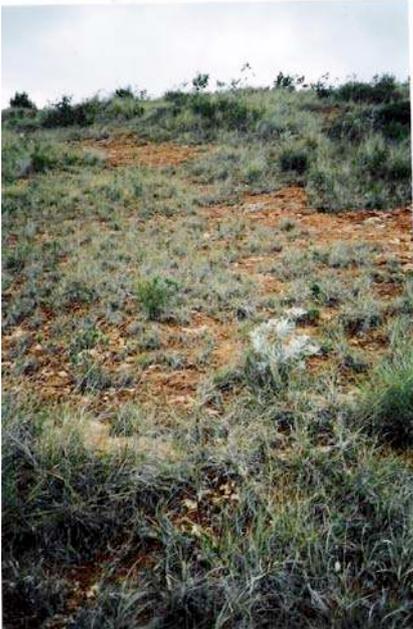
Après la coupe et le séchage du bois, le foyer à charbon est préparé pour le brûlage

3.1- Types d'érosion et dégradation des sols

L'érosion se manifeste sur toutes les unités topographiques et plus particulièrement au niveau des cultures pluviales localisées sur les versants à pseudo steppe et à sols ferrallitiques acides des collines (Planche 2). Ces derniers tendent à s'appauvrir chimiquement et se dégrader physiquement dès les premières cultures. Labourés, ils sont vite saturés au moment des fortes pluies et leur pouvoir d'infiltration est réduit. L'eau ruisselle très vite de façon diffuse et se concentre à la limite des champs. *L'érosion diffuse* entraîne une dégradation due au décapage important des sols. Celui ci se traduit par le départ des éléments nutritifs et des atterrissements sableux en aval. L'épuisement des sols est renforcé par les pratiques culturales préconisées par le système traditionnel. Le niveau de fertilité des sols n'est plus maintenu car la restitution du point de vue minéral et organique n'est plus satisfaisante. Le passage répété des feux ainsi que le prélèvement de la litière favorise cette érosion des versants.

L'ensablement n'est manifeste qu'en l'absence de structure de défense des sols même rudimentaire. Simple entassement de sable sur les rochers le long des cours d'eau ; il peut devenir important et concerner les bas fonds aménagés en

rizières qu'ils recouvrent d'une couche épaisse de sable pouvant atteindre 50 cm d'épaisseur dans le bassin versant d'Antsaharatsy situé au nord-est d'Antananarivo, soit 60% des surfaces cultivées en riz. Cet ensablement est cause d'une perte de terre cultivable de l'ordre de quelques ares à plusieurs ha chez les paysans enquêtés, réduisant les chances de production paysanne. Evaluée en coût la perte peut atteindre l'équivalent de plusieurs milliers d'Ariary en monnaie locale, dans les zones étudiées. Ceci est considérable pour le paysan qui, du fait de la faiblesse de son pouvoir d'achat, est plus porté sur le troc de sa production.



Erosion des versants



Atterrissement sableux en aval des cultures

Planche 2 : Formes d'érosion dans les bassins versants de Sahasarotra et Maniandro

Sources : Randriamanga et al 2005 et Ratsivalaka et al 2007



Ensablement des rizières



Erosion hydrique en lavaka

L'érosion des versants peut prendre des formes plus spectaculaires quand des **lavaka** les affectent. Qualifiée d'érosion en U dans la typologie des ravines établie par Roose et *al.* (2000), l'érosion hydrique en lavaka est provoquée par les eaux de ruissellement et caractérise les mouvements de masse les plus fréquents des zones étudiées. Elle s'observe surtout sur les zones dénudées ou fragilisées à mi versant des collines. Le lavaka se présente en général comme un vaste amphithéâtre aux parois abruptes rétrécies dans sa partie aval où se localise le plus souvent un chenal d'évacuation des eaux. Ses formes varient : de la grande ravine profonde en forme de poire, il peut prendre l'aspect de griffe, cuiller, rigole, devenir coalescent ou digité quand plusieurs se côtoient. Il peut constituer des unités grandes de 30m X 60m X 10 m et peut remanier jusqu'à 500 tonnes de matériaux. Le lavaka évolue par effondrements verticaux et successifs de ses parois. Deux processus suivant le sol et la géologie sont observés dans les zones étudiées quant à sa formation.

L'érosion linéaire par ravinement est due au ruissellement. Elle favorise le creusement de chenaux se développant en rigoles et en ravines qui évoluent dans le sens de la largeur. L'érosion par mouvement de masse est caractérisée par des glissements rotationnels pouvant s'emboîter et entraîner vers l'aval le processus érosif. L'évolution de ces affaissements aboutit à l'élargissement du lavaka. Brenon cité par Chaperon (1993) évoque des volumes de lavaka équivalents à 500 000 m³. Le lavaka est la principale source d'approvisionnement en sable des bas fonds et fournit une partie des sédiments aux rivières. Les grands cours d'eau comme la Betsiboka ont leurs eaux teintées en rouge à cause des quantités importantes de sédiments. Mais c'est surtout **l'érosion en nappe** prédominant dans l'Ouest qui apporte la grande majorité des matériaux en suspension dans les fleuves. D'après Robequain Ch., cité par Chaperon P., (1993) la Betsiboka a un débit solide de 100 000 m³ à son embouchure ce qui correspond à environ 2 mm d'érosion pour l'ensemble du bassin.

L'homme et l'élevage constituent une autre source d'érosion à la campagne. Le passage répété des paysans sur le même axe, celui quotidien des bœufs entre l'étable et la zone de pâture et les traces laissées par les charrettes finissent par creuser, durcir et **compacter le sol**. Il se crée des sillons qui se creusent avec le ruissellement pour donner des **rigoles** de 25 à 50 cm de large et profondes d'environ 50 à 100 cm. Ces rigoles peuvent devenir de véritables « crevasses ». Elles accentuent le ruissellement en rapport avec les précipitations. Ces dernières sont particulièrement agressives en début des saisons de pluie. Mais si dans ce sens, l'élevage présente des aspects négatifs il faut reconnaître que le fait d'élever des bœufs est un plus pour le paysan car les bovidés apportent leur force musculaire dans le travail des champs, celui des rizières et le transport d'hommes et des marchandises. Ils fournissent en outre le fertilisant à moindre coût et à la portée du paysan. **Le fumier de ferme** est en effet le fertilisant le plus utilisé à la campagne. Le paysan s'en sert dans les rizières des bas fonds, sur les cultures maraîchères des terrasses alluviales ou des bas de pente.

3.2- Les impacts de l'érosion dans les sites tests.

Les impacts de l'érosion sont essentiellement sociaux et économiques. Nous reportons ici quelques exemples significatifs. L'érosion est un problème sérieux pour la production. Elle occasionne des quantités importantes de perte en terre. La simulation effectuée à ce propos dans le bassin versant d'Antsaharatsy (Andrianavalona et Randriamanga, 2008) a montré que le ruissellement reste fort

après un brûlis. La perte en terre n'apparaît qu'après le passage d'un feu. Elle varie considérablement avec la pente. Elle est estimée à 2,1t/ha/an et 4,1t/ha/an avant et après le passage d'un feu. Plusieurs hectares de terres cultivables disparaissent ainsi chaque année. Cette perte en terre s'accompagne en outre de la baisse des rendements agricoles. Aucune mesure de protection n'est pratiquée par les paysans. Or l'étude montre qu'on peut réduire les pertes en terre à 0,4t/ha/an rien qu'à travers une action de protection au niveau de la couverture végétale (Tab. 2).

Tableau 2 : Répartition et évolution des pertes en terre suivant l'intensité de la pente à Antsaharatsy

Pente (%)	≤ 2	2 - 12	12 - 36	≥ 36
Perte avant feu (t/ha/an)	0,07	0,40	1,69	9,16
Perte après feu (t/ha/an)	0,15	0,74	3,28	17,23
Perte probable sans feu (t/ha/an)*	0,01	0,07	0,32	1,65
Surface (%)	25,7	6,5	54,9	12,9

Source : Andrianaivalona H et Randriamanga S., 2008

Il s'agit d'une perte en terre simulée dans le cas où la couverture végétale devient de plus en plus dense.

Des mesures effectuées sur trois parcelles test dans le bassin versant de Maniandro au nord-ouest d'Antananarivo (Ratsivalaka et al, 2007) ont montré l'importance du ruissellement sur un sol non couvert de végétation (Tab. 3). Des études similaires menées à Manankazo et dans la région de l'Alaotra respectivement au nord-ouest et au nord nord-est d'Antananarivo, confirment ce constat. On retient que le couvert végétal de densité suffisante même sur une pente forte, réduit l'érosion.

Tableau. 3 : Le ruissellement dans le bassin versant de Maniandro pendant la campagne 2006-2007

Mois	Pluie (mm)	Volume de ruissellement (m3)			Hauteur de ruissellement (en mm)			Coefficient de ruissellement (en %)		
		Parcelle			Parcelle			Parcelle		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Octobre	33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Novembre	259	6,4	6,5	6,5	63,7	65,2	65,3	24,6	25,2	25,2
Décembre	290	7,2	7,8	7,2	71,6	78,4	72,2	24,7	27,0	24,9
Janvier	561	9,7	9,8	9,7	96,8	98,3	97,5	17,3	17,5	17,4
Février	234	2,7	4,5	3,3	27,0	45,1	33,4	11,5	19,3	14,3
Mars	87	0,2	0,3	0,2	2,4	3,0	1,7	2,8	3,5	2,0
Avril	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Année	1464	26,2	29,0	27,0	261,5	290,0	270,1	13,5	15,4	14,0

Source : Ratsivalaka S., et al., 2007

Les taux de ruissellement sont quasi identiques (13,5 à 15,5 %) pour les trois parcelles. Ces taux sont faibles à moyens, compte tenu de l'importante pluviosité. Ces résultats sont dus au fait que les parcelles 1 et 3 sont efficacement protégées. La parcelle 2 est un peu moins protégée et les risques de E+R légèrement plus élevés.

Les travaux effectués dans plusieurs sites étudiés notamment à Antsaharatsy (Andrianavalona et Randriamanga, 2006 et 2008) ont montré que le phénomène d'érosion touche tous les terrains de culture et les ouvrages et infrastructures agricoles : ensablement des rizières, obstruction des canaux d'irrigation, destruction des terrasses maraîchères suite à une pluie agressive du début de la saison. Les impacts de l'érosion au niveau du ménage sont durement ressentis car les dégâts coûtent très chers au paysan et peuvent anéantir la production d'une saison entière. Le budget alloué à la dépense d'un ménage est revu à la hausse. Les travaux d'intérêt communautaire (réhabilitation des routes et des canaux d'irrigation, construction des digues et des fossés) et les travaux de réparation des parcelles atteignent des sommes importantes par rapport au revenu d'un ménage ; soit 350 000 « Ariary » équivalent à environ 150 € dans le cas de réparation d'une terrasse maraîchère sur les Hautes Terres. Cette somme est très importante par rapport au revenu annuel des paysans.

La période de forte précipitation et de crue coïncide souvent soit au moment du repiquage soit au moment de la formation des grains de riz, des phases critiques au niveau de la production. Il y a très peu de ménages qui réussissent à terminer les travaux de réhabilitation des parcelles de culture en l'espace d'une année. De plus, les enquêtes ont révélé qu'il faut au moins trois saisons pour qu'une rizière victime d'ensablement retrouve ses capacités de production. Les terrasses de culture retrouvent par contre leur fertilité initiale dès leur réhabilitation. Mais l'abandon de certaines terrasses est fréquent quand les canaux d'irrigation sont fortement endommagés. Le grand problème de l'agriculteur est de trouver la somme nécessaire pour effectuer les travaux. Pour maintenir la productivité, le paysan aménage de nouvelles terrasses, même loin du village. Le coût de cet aménagement est élevé car l'érosion diffuse et en nappe charrient une grande partie de l'humus où se concentrent les éléments fertiles du sol. La détérioration des voies de communication perturbe les échanges commerciaux et la diffusion de nouvelles techniques au niveau des ménages. La capacité d'investissement du paysan reste très faible et le coût de l'enclavement est énorme. Les ventes à perte sont fréquentes au niveau de l'agriculteur car le prix du transport est mal évalué. L'impact de l'érosion des sols affecte donc tous les acteurs de développement et concerne tous les domaines : social, économique, et politique. Face à cette situation, le paysan s'est adapté.

4- Les actions menées dans le cadre de la Lutte Anti Erosive (LAE)

4.1- Gestion traditionnelle de l'érosion et restauration de la fertilité des sols

Le paysan gère l'érosion au niveau de chaque champ par l'usage d'un canal de protection « *tatatra* » d'environ 40 cm X 40 cm X 40 cm qu'on place en amont de la culture contre le ruissellement (Planche 3). Des canaux sont placés sur les côtés, pour préserver les bas fonds de l'ensablement. On aménage parfois ces canaux d'un rebord surélevé « *tentitra* » pour améliorer leur efficacité, surtout quand les pentes sont fortes. Des canaux permanents « *tata-belona* » complètent ce dispositif pour évacuer les eaux. Ils assurent la protection de l'ensemble des parcelles cultivées. Leur entretien est collectif.

Pour diminuer les effets de ruissellement, le paysan cultive **des arbres fruitiers, bananiers sur les rebords des champs**. Ces fruitiers constituent d'ailleurs un complément alimentaire par leur fruit et subviennent aux besoins du paysan par leur bois et la biomasse fourragère...

Le paysan « vit » avec le lavaka et l'exploite dès qu'il est stabilisé. Ce sont les propriétaires des terrains affectés par les lavaka qui les récupèrent pour pratiquer des cultures d'oignons, brèdes ou maïs (Planche 3) quand les risques d'éboulement sont moindres, profitant du sol remanié et humide. Ils nivellent alors les matériaux déposés par effondrement pour pouvoir cultiver. Il capte les eaux de ruissellement pour alimenter un système de canaux d'irrigation creusés dans le lavaka. Il le stabilise par la plantation d'Eucalyptus, de Pins ou par des arbres fruitiers. Quand aucune source ou écoulement superficiel n'est apparent, le lavaka est colonisé pour les cultures pluviales : manioc ou patate douce. En amont sont plantés des ***Eucalyptus associés le plus souvent à des bananiers***. Dans l'Ouest, l'espèce la plus utilisée est le ***manguier***, à la fois pour son ombrage et ses fruits. Quoi qu'il en soit, en aménageant le lavaka le paysan contribue sans le chercher à le stabiliser et entretenir la source par le reboisement. La valorisation du lavaka se traduit par un gain de surface cultivée, la diversification des cultures maraîchères et celle des cultures pluviales. ***Elle se traduit comme un gain de production donc une augmentation potentielle du revenu du paysan***. Les mesures correctives des lavaka pratiquées aujourd'hui par différents organismes non gouvernementaux cherchent à les stabiliser par des techniques mécaniques simples associées à des techniques biologiques. Les dispositifs antiérosifs sont alors installés suivant les courbes de niveau pour éviter la concentration de l'eau.

L'attitude du paysan étonne parfois face à l'ensablement des bas fonds : il comble de terre la zone ensablée pour pouvoir y cultiver. Considérant cet ensablement comme une situation temporaire, n'empêchant l'exploitation de la rizière que sur un temps limité, il attend de pouvoir de nouveau y cultiver dans les deux ou trois ans à venir. C'est le cas souvent observé dans le Moyen Ouest à Tsiroanomandidy.

Plusieurs techniques sont pratiquées par le paysan pour gérer la fertilité des sols, notamment l'utilisation d'intrants et engrais organiques. L'amendement le plus utilisé est la fumure du zébu. La plus grande partie de fumure est destinée à la riziculture et aux cultures maraîchères des terrasses. Le paysan peut mettre ***jusqu'à 20 t/ha de fumure***. La collecte des bouses est faite le matin dans les parcs ou fosses à bœufs. Mais la quantité de fumure demeure insuffisante car la taille du cheptel est trop petite. Cela n'empêche pas la ***vente de fumure*** au début des grands travaux. ***L'association de cultures de légumineuses*** est aussi pratiquée sur les terrasses et les bas de pente : maïs et haricot, patate douce et haricot. Cela permet d'avoir divers types de cultures sur la même parcelle et de bénéficier du haricot comme fertilisant. Cette connaissance empirique du paysan sur l'utilisation du haricot est justifiée : le haricot est en effet une plante fixatrice d'azote.

La rotation de cultures ou la pratique de la jachère ne concerne en général que les flancs des collines.

La fertilisation des sols est aussi directement assurée par les bœufs qui pâturent sur les terrains en jachère en laissant la bouse sur le terrain. Cela permet d'éviter le transport du fumier. Le troupeau est ensuite déplacé sur un autre terrain dans le même but. Après quoi, le paysan y cultive du manioc. Aujourd'hui cette pratique est abandonnée à cause de l'insécurité dans les campagnes, consécutive au vol des bœufs.

Les feux de végétations sont importants dans la zone de savane et représentent une autre forme de gestion traditionnelle des sols.



Planche 3 :

Gestion des champs contre l'érosion
Source : Randriamanga et al 2005



Aménagement d'un lavaka
Source : Randriamanga et al 2005

4.2- L'intervention des associations, organismes étatiques, confessionnels et privés

Les techniques traditionnelles de gestion de l'érosion, sont en général reprises et améliorées par les acteurs de développement dans les campagnes malgaches afin d'aider les paysans à faire face à la dégradation des sols et les aider dans la restauration de la fertilité en plus des techniques modernes.

La stratégie globale de lutte antiérosive pratiquée à ses débuts au cours des années **1950 est surtout mécanique**. Elle vise à retenir les sols, freiner la vitesse d'écoulement de l'eau en diminuant sa force érosive et assurer le dépôt des sédiments avant leur arrivée dans les canaux et les rizières. Elle s'est référée aux connaissances acquises aux Etats Unis et en Afrique qu'on a cherché à adapter au cas malgache. Ces mesures mécaniques ont **un effet temporaire**. Il s'agit de fascines, cordon de pierres ou de pailles, diguette en terre, gabion et fossé de protection à placer avant la saison des pluies. Plus tard des mesures agrobiologiques portant sur la végétalisation par **des haies vives** ou des pratiques de l'**agroforesterie** sont appliquées. Elles doivent être réalisées au début de la saison des pluies.

Au départ, c'est le Centre de Technique Forestier Tropical (CTFT) qui a effectué différentes mesures d'érosion en parcelles élémentaires et en bassin versant. D'autres organismes se sont ensuite impliqués successivement : Bureau des Sols du Service des Eaux et Forêts/Bureau d'Étude du Service des Eaux et Forêts et de la Conservation des sols, CTFT /Division de Lutte contre l'Érosion., ORSTOM, Centre national de recherche pour le développement rural (FOFIFA)/Département des Recherches Forestières et Piscicoles/Programme Conservation des Sols et Programme National de Lutte Antiérosive (PLAE).

Des projets de conservation sont menés par FOFIFA, CIRAD et Office National de l'Environnement (ONE). Il s'agit surtout de campagnes de sensibilisation et de responsabilisation des paysans pour la protection des sols et la lutte contre l'érosion. Ce sont aussi des programmes de vulgarisation des techniques qui sont diffusés dans le pays. Des centres de formation agricole sont ouverts. Des parcelles témoins sont implantées dans différents sites et des « vitrines » créées pour sensibiliser, entraîner et inciter le paysan à adopter les techniques modernes de l'agriculture. Des concours agricoles sont lancés pour récompenser les meilleurs producteurs, notamment la production de riz par le système de riziculture améliorée.

Les dispositifs de Défens et Restauration des Sols (DRS) sont réalisés en fonction de la pente. On pratique le système de **cultures en courbes de niveau** sur les versants à pente < 12%. Il s'agit de limiter les actions érosives du ruissellement par **des lignes isohypses d'absorption totale ou des fossés de diversion**. Les cultures sont placées entre les lignes. Là où la pente > 12% le terrain est classé en zone de protection. Le reboisement est conseillé pour rompre la vitesse d'écoulement des eaux et canaliser les superflus vers des exécutoires.

Des aménagements sont faits sur les lavaka pour stopper les phénomènes d'érosion régressive, éviter le sapement à la base des talus d'éboulement issus de l'effondrement des parois ou des glissements des altérites et maintenir la stabilité du lavaka. Les interventions visent à diminuer les apports d'eau supplémentaire en créant tout un système de canaux de diversion cimentés ou tout simplement creusés dans le sol. Les petits barrages en pilier de bois morts et feuillages placés au niveau de l'exutoire, disposés par les paysans pour piéger les sédiments ou empêcher l'ensablement des rizières situées en aval sont remplacés par des ouvrages plus perfectionnés. La **revégétalisation du lavaka** vise la stabilisation de l'érosion.

Les sites de reboisement sont multipliés pour protéger le sol du ruissellement, atténuer le phénomène de l'érosion par la couverture végétale et permettre une meilleure infiltration des eaux de pluie dans le sol. Ces reboisements avaient aussi pour objectifs de ravitailler la capitale en charbon et en bois de construction pour préserver le patrimoine forestier. C'est le cas des reboisements sur l'axe Nord Est d'Antananarivo vers Anjozorobe.

Les actions de **restauration de la fertilité des sols** sont orientées dans la recherche de pratiques culturales qui visent l'augmentation des rendements et limitent les effets de l'érosion. L'expérimentation a porté sur la rotation culturale : pomme de terre, arachide, maïs et pois dans la station de Nanisana dans la banlieue d'Antananarivo ; blé, légumes, maïs, jachère naturelle ou améliorée à Manankazo dans le Tampoketsa d'Ankazobe. En même temps on a comparé les effets de cultures à plat et en billons. Il résulte que *le billonnage réduit l'érosion jusqu'à 10 fois dès la deuxième année.*

La **culture sous couverture** des sols par végétaux vivants ou paillage sous forme de résidus de culture et herbes mortes « *voly rakotra* » vise la réduction des effets des gouttes de pluie sur le sol en freinant le ruissellement par les végétaux tout en restaurant et conservant les sols.

La **jachère améliorée** expérimentée à Manankazo utilise des espèces tel que *Tephrosia vogelii* ou *Phaseolus lunatus* pour protéger le sol de l'érosion par la végétation, augmenter la matière organique, améliorer la structure et la fertilité du sol par fixation de l'azote.

La pratique du **compostage** résulte de la formation dispensée par le Ministère de l'Agriculture en 2005 et des apports des Projets agricoles, notamment d'une agence japonaise de coopération agricole internationale : JICA. Quelques paysans le pratiquent d'eux-mêmes aujourd'hui. Le compost est réalisé avec les déchets ménagers et organiques agricoles : épluchures de légumes, tiges, feuilles, fanes de maïs auxquels sont ajoutés du *Tephrosia* ou du *Crotalaria*. Le tout est mélangé puis déposé dans un puits de fermentation en intercalant fumier de ferme, bouse de vache, fiente de poulet avec la terre arable. Il est prêt en l'espace de deux mois et demi. Il est utilisé pour le jardinage et les cultures maraîchères.

L'entretien de la fertilité de la rizière après la récolte est maintenu par le biais de la culture de contre saison. Elle résulte de l'action des vulgarisateurs agricoles et des ONG. Les cultures les plus pratiquées sont la pomme de terre et le haricot. La culture de contre saison a pour effet de diminuer l'apport en fertilisant dans les rizières. Sa pratique se heurte à l'adhésion des paysans et à la faiblesse de leurs moyens financiers.

L'**agroforesterie** est pratiquée dans les zones forestières, les recherches sont menées pour limiter les dégâts causés par l'érosion des sols lors des cultures sur brûlis, la dégradation par lessivage et la lutte contre les adventices.

On a cherché à encadrer le paysan sur la pratique des embroussaillements des terrains dégradés et menacés par l'érosion, les **arbres fruitiers** et la pratique des **haies vives**.

5- Bilan des actions de LAE

L'expérience est réussie en matière de prairie naturelle, culture en courbes de niveau, utilisation des terrasses et gradins, reboisement et agroforesterie à l'exemple de l'utilisation des plantes comme *Tephrosia* en jachère améliorée. L'embroussaillement de la jachère avec *Grevillea banksii* a permis de lutter contre l'érosion et fournir une biomasse importante à la parcelle. Au Moyen Ouest,

Stylosanthes gracilis a réussi comme espèce fourragère. La pratique des haies vives a donné de bons résultats sur les falaises orientales notamment à Beforona. La stabilisation des lavaka n'est pas complète dans les zones affectées par l'érosion mais les résultats sont positifs en matière de sédimentation et l'action mérite d'être poursuivie. Les formations paysannes en techniques agricoles reçues sont restées.

Les pratiques améliorées et modernes sont cependant entravées par de nombreux problèmes. Le paysan n'a pas les moyens financiers et matériels de les appliquer et l'absence de structuration des organisations paysannes gêne la mise en place de ces techniques. L'insécurité foncière, les feux de brousse et l'insuffisance d'encadrement contribuent aussi à empêcher leur réalisation. De plus les actions entreprises sont fortement tributaires des Projets. Quand ces derniers se terminent tout ce qui a été fait cesse en même temps. C'est le cas en 1993 du projet Bassin Versant de la FAO (Food Agriculture Organisation). Plusieurs techniques de Gestion Conservatoire de l'Eau et de la fertilité des Sols (GCES) ont été initiées mais en fin de programme les résultats et les efforts déjà réalisés sont entravés faute de suivi. Le paysan a repris les anciennes techniques traditionnelles de GCES. L'insuffisance de moyens de l'Etat malgache est aussi un facteur de blocage. Enfin la portée des programmes de développement est souvent limitée aux sites d'expérimentation. Leur impact ne permet pas un développement généralisé du pays. Ainsi, seules quelques zones profitent des apports des Organismes Non Gouvernementaux (ONG) à l'exemple de Tafa (Terre et Développement) qui intervient sur les Hauts plateaux, le Moyen Ouest, le Lac Alaotra, le Sud Est et le Sud Ouest.

6- Discussion et conclusion

Le plus grand handicap du paysan réside dans ses pratiques culturelles orientées vers l'autosubsistance et dans ses systèmes de production demeurés traditionnels, entretenant de la sorte la faiblesse des rendements. Ses activités sont peu tournées vers l'économie de marché. Les sources d'argent ne sont pas variées. D'où **l'impossibilité d'investir** et en conséquence de diversifier ses cultures et innover ses pratiques culturelles. Les entrées d'argent demeurent faibles et instables ce qui amène le paysan à s'occuper d'abord du nécessaire, à porter l'effort sur la riziculture et l'entretien des bœufs assurant respectivement la subsistance et les travaux des champs. Les autres investissements : culture maraîchères et de contre saison tiennent compte de sa capacité d'épargner.

La défaillance de l'éducation à la campagne explique le besoin souvent exprimé du paysan pour une assistance continue devant toutes nouveautés technologiques. C'est pourquoi, il est désemparé quand il lui faut poursuivre seul les actions arrivées en fin de projet.

La croissance démographique constitue un autre problème à résoudre dans la mesure où son impact se fait sentir au niveau du milieu naturel, de l'utilisation et la répartition des terres. Comme les zones de culture occupent les bas fonds et les bas de pente, l'exiguïté de ces dernières et la surcharge démographique poussent le paysan à remonter les versants des collines. Dans le cas de la cuvette intra montagnarde d'Andapa dans le Nord Est de l'île, où de nombreux appuis du Fonds Européen de Développement (FED) ont aidé le paysan, c'est la chute de production qui a entraîné l'exploitation des versants montagneux environnants. Les moyens et techniques utilisés, demeurent traditionnels et fragilisent les versants menaçant d'érosion les zones de bas fonds. L'accroissement de la population entraîne en outre un **morcellement des surfaces cultivées** à cause de l'appropriation des terres qui se fait dans la majorité des cas par héritage. Les propriétés sont morcelées à

l'extrême en fonction du nombre des héritiers. Les chances de production diminuent en conséquence accentuant la pauvreté.

Si le paysan perçoit bien les problèmes afférant à l'érosion et à la restauration de la fertilité des sols, il ne se montre pas assez combatif, et ne fournit pas d'effort en matière d'agriculture à cause de son **fatalisme**. Il se montre souvent impatient face au gain car il veut des résultats et avoir tout rapidement. Il change difficilement d'habitude. Exemple, pour faire face au danger des variations climatiques actuelles, la politique de l'Etat vise à promouvoir les variétés de riz à cycle court dans le milieu paysan. Mais la majorité des agriculteurs préfèrent toujours planter des variétés qu'ils connaissent bien. Tel le « Makalioka » dans l'Alaotra Mangoro, un riz blanc apprécié pour la longueur de ses graines. Concilier la politique proposée par l'Etat, la demande réelle émanant des paysans et les aléas climatiques ; constituent alors une véritable source de difficultés quant au choix des semences.

Toutes ces considérations expliquent les difficultés rencontrées par les actions de développement à Madagascar. La faiblesse des moyens financiers, techniques et matériels constitue l'un des premiers handicaps à surmonter. Le manque d'initiative et le besoin d'assistance du paysan amène à reconsidérer son éducation et oblige les organismes de développement à faire une **approche participative** pour responsabiliser le paysan face au problème de développement. C'est le cas du Programme de Lutte Anti érosive (PLAE) qui intervient à Marovoay.

L'amélioration de la vie dans la campagne ne peut donc se faire que sous certaines conditions : maîtriser le milieu naturel pour assurer un développement durable, augmenter le revenu de la majorité pour assurer une réelle amélioration des conditions de vie. Il doit intégrer les aspects socio culturels car le développement de la campagne dépend beaucoup du paysan lui-même : sa faculté de changer de pratiques, de penser et d'adopter les techniques modernes.

En conclusion, l'état de dégradation de l'environnement et le maintien des pratiques ancestrales contribue à pérenniser le non développement de la campagne. Si le paysan a pu bénéficier des techniques de LAE vulgarisées par différents organismes de GCES, il les a bien acceptés en général. Mais elles sont ponctuelles et demeurent souvent à l'état d'expérimentation. Elles souffrent en outre de l'instabilité politique de Madagascar et sont en conséquence limitées dans le temps. Le paysan quant à lui, ne peut pas être livré à lui-même. Il a **besoin d'un soutien constant** si on veut la poursuite et la réussite des actions menées. Il faut en conséquence développer l'éducation à la campagne et intéresser le paysan à l'économie du marché en l'aidant à accéder à une culture de profit. Ainsi, la meilleure stratégie de développement préconisée commence par une véritable éducation des ruraux pour les rendre autonomes et réellement aptes au développement.

Références bibliographiques

ANDRIANAVALONA H.M. et RANDRIAMANGA S. 2006 : Implications de l'érosion hydrique dans l'aménagement du bassin versant d'Antsaharatsy, Hautes terres centrales de Madagascar, in Erosion et gestion Conservatoire de l'Eau et de la Fertilité des sols, dir. S. RATSIVALAKA, G. SERPANTIE, G. DE NONI et E. ROOSE, Actualité Scientifique, éditions scientifiques GB, Agence universitaire de la Francophonie, pp. 153-158

ANDRIANAVALONA HM et RANDRIAMANGA, 2008 : Evaluation des pertes en terre sous SIG et perspectives d'aménagement d'un bassin versant de Madagascar, Annales de la faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université d'Antananarivo (sous presse)

CHAPERON P., DANLOUX J., FERRY L., 1993 : Fleuves et rivières de Madagascar, Monographie hydrologique 10, IRD éditions, Ministère de la Recherche Scientifique, Ministère des Transport et de la Météorologie, Paris, 874p., édition cédérom 2005

RANDRIAMANGA S., 2005 : Application de la télédétection et des SIG dans la gestion des sols d'un bassin versant des Hautes Terres Centrales malgaches, in S. RATSIVALAKA, G. SERPANTIE, G DE NONI, E. ROOSE, Les Actes courts des Journées scientifiques régionales du Réseau Érosion et GCES de l'AUF, 25, 26 et 27 octobre 2005. pp 77-80

RATSIVALAKA S., ANDRIAMAMPIANINA N., MIETTON M., PUECH C., ANDRIAMIHAMINA M., RANDRIAMBOAVONJY J.C., 2007 : "Restauration et gestion de la fertilité des sols sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar : cas du bassin versant de Maniandro, nord-ouest d'Antananarivo, Madagascar". Réseau des chercheurs EGES de l'AUF. Rapport Scientifique de mi-parcours, 49p. Rapport final, 41p.

ROOSE E., CHEBBANI R., BOUROUGAA L., 2000: Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Synthèse, Sécheresse 2000, n°11, pp. 317 -326.

Perception de la banquette antiérosive fruitière par les utilisateurs dans le Moyen Atlas (Maroc)

Régis PELTIER*, Mohamed SABIR**, Charles LILIN***, Anaïs ODDI***, Frank SCHNEIDER***, Florence AMIA***, Daniel KÜBLER***, Thea-Katharina WIESINGER***, Armand-Yvon MENGOME-ANGO***

* CIRAD-ES-UPR36, TAC-36/D, Baillarguet 34398 Montpellier Cedex 5, France (regis.peltier@cirad.fr) ** École Nationale Forestière d'Ingénieurs, BP 511, Salé, Maroc *** AgroParisTech-ENGREF, BP 7353, 34086 Montpellier cedex 4, France

Résumé :

La banquette fruitière » est une méthode qui consiste à creuser des fossés d'environ 50 cm de largeur et de profondeur, en courbe de niveau, au fond desquels sont plantés des arbres fruitiers. Elle a été largement utilisée au Maroc depuis des décennies et diffusées par le projet européen de développement participatif du Moyen Atlas Central, qui en a fait installer 97 km sur 212 ha, entre 2005 et 2007.

Méthode : Au cours du mois de février 2007, des enquêtes ont été réalisées auprès de 16 paysans de la région de Khénifra, Moyen-Atlas, pour déterminer quelle était leur perception de la technique et quelles améliorations ou alternatives ils pouvaient proposer. Les enquêtes ont été croisées avec autant de visites de terrain et avec des entretiens avec des personnes ressource.

Résultats : Les paysans, dans leur ensemble, portent un grand intérêt aux fruitiers. En effet, ces agro-pasteurs « berbères », assez récemment sédentarisés, vivent traditionnellement de l'élevage du mouton et de la culture des céréales. L'arboriculture des pommes, des amandes et des olives peut leur permettre d'obtenir des revenus monétaires beaucoup plus importants.

C'est en raison de cet intérêt pour l'arboriculture que les agriculteurs acceptent le creusement des banquettes par le projet, dans leurs champs, d'autant plus qu'il subventionne également l'achat des plants et leur mise en place.

Mais très peu sont convaincus par l'efficacité antiérosive des banquettes qui, étant en courbe de niveau, sont mal adaptées à l'irrigation gravitaire et qui se révèlent sensibles, en cas de fortes précipitations et de piétinement du bétail, en particulier sur fortes pentes.

Lorsqu'ils réalisent eux-mêmes les travaux, certains arboriculteurs préférèrent entourer les arbres par un fossé peu profond en demi-lune, dont le bourrelet aval est renforcé par un mur en pierres sèches, ce qui forme une terrasse individuelle pour chaque arbre. Elles peuvent alors être disposées le long de fossés d'irrigation en légère pente. En cas de fortes pluies, l'eau en excès peut s'écouler entre les terrasses individuelles, sans les détruire. On remarque, en outre, que seuls les plus aisés des arboriculteurs, en particulier d'anciens émigrés, peuvent assurer l'irrigation, la taille et les traitements.

Discussion et conclusion : Il apparaît ainsi que le « paquet technologique banquette + arboriculture », apporté par le projet, a été bien accepté en raison de sa quasi-gratuité, malgré les inconvénients voire les dangers de la technique antiérosive choisie. Ce faisant, le projet a certainement accéléré l'évolution des systèmes agraires traditionnels et leur ouverture vers l'économie de marché. Il reste à espérer que ces néo-arboriculteurs sauront développer des techniques plus diversifiées et donc plus durables, après la fin du projet. Au niveau de l'approche projet, les auteurs pensent qu'il aurait été plus efficace de dissocier les messages portant sur l'érosion et sur l'arboriculture, et de travailler sur une plus longue durée, en tenant compte des savoirs traditionnels et en assurant l'accompagnement et la formation des agriculteurs.

Mots clés :

Maroc, Banquettes fruitières, Érosion, Développement rural participatif, Moyen-Atlas, GCES, Perception paysanne, Résilience des systèmes socio-écologiques.

Abstract:

Perceived view on fruit arboriculture terrace by their users in Middle-Atlas (Morocco)

Terrace orcharding (banquette fruitière) is a method which consists of digging ditches of approximately 50 cms in both width and depth, in contour lines, at the bottom of which fruit trees are planted. It has been used extensively in Morocco for decades and become more widespread thanks to the European Project for Participative Development in the Central Middle Atlas region, which duly planted 97,000 m of them over a 212 ha area between 2005 and 2007

During the month of February 2007, a survey was carried out with the cooperation of 16 farmers from the Khenifra region (Middle Atlas), in order to determine how they perceived the technique and what improvements, if any, or possible alternatives they might be able to suggest. The surveys were combined with an equal number of on site visits and numerous interviews with key resource persons

The farmers, in general terms, attach great importance to fruit trees. In fact these Berber agropastoralists, relatively recently sedentarised, live traditionally from the breeding of sheep and the planting of cereal crops. Orcharding of apples, almonds and olives could enable them to enjoy significantly higher income.

Its because of this interest in fruit arboriculture that the farmers were willing to accept the project's terrace digging in their fields, in addition to the fact that it was responsible for subsidising both the purchase and planting of the fruit trees.

Yet few were convinced of the erosion control effect of the terraces which, being in contour lines, were badly adapted to gravitational irrigation and which in any event proved itself to be rather oversensitive, to both heavy rainfall and the cattle trampling and this was especially true in those areas with steep slopes.

When they carried out the work themselves, certain farmers demonstrated a preference for surrounding the trees by a shallow crescent-shaped ditch, whose dyke was reinforced by a wall made from dry stones. In this way they could be set out right along the entire length of the irrigation ditches in a slight slope. It is also worth pointing out that only the better off, in particular former settlers could afford to pay for irrigation, pruning and the various requisite treatments.

It would seem, then, that the advisory package, as developed by this project, was well accepted because of its virtual absence of cost, and despite the drawbacks (and possibly even dangers) of the selected erosion control technique. That said, the project undoubtedly accelerated the change of traditional rural systems and assisted in their opening up to the market economy. One can but hope that these "neo-arboriculturists" will know how to develop more diversified (and thus more sustainable) techniques upon completion of the project. In terms of project approach, it remains an open question as to whether or not it might have been better to distance oneself from the feedback given in relation to both erosion and fruit arboriculture.

Keywords: Fruit Arboriculture Terrace, Erosion control, Participatory rural development, Middle Atlas, Morocco, Soil conservation and reclamation, Conservative management of water and soil.

Introduction

Le « Projet de Développement Rural Participatif du Moyen Atlas Central » (dit « Projet Khénifra » ou également « Projet MEDA ») a pour objectif l'amélioration des conditions de vie des populations rurales, à travers l'augmentation des revenus et la mise en œuvre d'une gestion rationnelle des ressources naturelles. Il s'agit également de poursuivre le projet de développement rural « Oued Srou » de la GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, coopération technique allemande pour le développement) qui, de l'avis de nombreux observateurs, a obtenu des résultats très satisfaisants. Il concerne 12 communes rurales de la province de Khénifra, Maroc, couvrant une surface de 235 000 ha. Le budget total s'élève à environ 20 millions d'Euros (Schlaifer, 2005). La réalisation du projet s'étend de 2002 à 2009.

Les mesures de Défense et de Restauration des Sols (DRS), conçues dans une logique de développement rural intégré et participatif, s'inscrivent dans ce projet. Différents types de mesures de DRS, de Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols (GCES) et de gestion durable de l'environnement sont prévus, sur une surface totale d'environ 235 000 ha et, en particulier, 97 km de banquettes fruitières sur 212 ha et 2200 m³ de murets en pierres sèches. Le maître d'ouvrage des mesures de DRS et de GCES est le Service Provincial des Eaux et des Forêts de Khénifra. La réalisation des travaux a été sous-traitée à des entreprises.

Pour le projet Khénifra, le principal objectif reste de faciliter la valorisation agricole des terres considérées comme marginales.

La « banquette fruitière » (Photographie 1) est une méthode qui consiste à creuser des fossés d'environ 50 cm de largeur et de profondeur, en courbe de niveau, au fond desquels sont plantés des arbres fruitiers. La hauteur du bourrelet se situe entre 30 et 70 cm.



Photographie 1 :
Banquettes fruitières au moment de la plantation

En février 2007, l'Unité de Gestion du Projet a demandé une contribution à « l'évaluation à mi-parcours » de la pertinence technique et socio-économique des mesures intégrées de DRS dans la région et, plus particulièrement, de la banquette fruitière. Il s'agissait d'effectuer une enquête auprès d'un échantillon d'utilisateurs de cette technique antiérosive, couplée à des plantations fruitières, pour étudier leur perception et rendre ainsi intelligible les écarts observés ou prévisibles entre les objectifs initiaux et ceux atteints. De nombreuses études sur l'efficacité antiérosive des banquettes existaient déjà (Roose, 1994, Sabir, 2003) mais il s'agissait ici

d'étudier l'efficacité de la diffusion, à grande échelle et sur un temps limité, du paquet technologique « banquette + arboriculture fruitière ».

Matériel et méthode

Zone d'étude

La province de Khénifra se localise dans le Moyen Atlas Central du Royaume du Maroc (Figure 1). Sur une surface totale de 1 341 000 ha, elle a une population de 465 061 habitants. Sa densité est d'environ 38 habitants par km². La population est généralement jeune : environ la moitié des habitants est âgée de moins de 20 ans. Le taux d'accroissement moyen annuel est de l'ordre de 2,3 %, avec une disparité considérable entre l'espace rural (0,5 %) et les centres urbains (5 %) en raison de l'exode rural.

Figure 1 :
Le Maroc et la région de Khénifra
(source Geomatic, 2007)

Au niveau économique, 75 % de la population active vit de l'agriculture et de l'élevage. Seulement 12 % de la population active est employée dans le secteur tertiaire (transports, commerces et administration). L'industrie et l'artisanat n'occupent que 3 % de la force de travail.

Le climat de la zone est de type méditerranéen continental de montagne, froid et pluvieux en hiver, chaud et sec en été. Les chutes de neige sont fréquentes en hiver. La province de Khénifra connaît des spécificités telles que la gelée, la grêle et la sécheresse. La moyenne des pluies annuelles dans la zone d'étude est de l'ordre de 600 à 800 mm (Sabir, 2003).

L'altitude de la zone de travail s'échelonne entre 1000 et 1500 m. Le relief de la zone est accidenté et les douars (hameaux de montagne) se trouvent souvent enclavés dans les vallées ou isolés dans les montagnes, toujours à proximité d'une source (Photographie 2).

Deux types de sols sont surtout présents dans la zone d'étude :

- Les sols fersiallitiques peu profonds sur dolomies et calcaires sont les plus présents. Par leur texture, nature, roche mère, ils sont souvent associés à la culture ou portent les forêts de chênes verts.



- Les sols rouges fersiallitiques méditerranéens sur argilites rouges du Trias. Face à l'érosion, ce sont les sols qui présentent la plus grande fragilité.



Photographie 2 :

La zone d'étude : habitations (douars) entourées de champs de blé enneigés en haut et à droite, vergers d'oliviers et jardins maraîchers dans la vallée

Des vertisols se rencontrent plus rarement dans les dépressions.

Pour des raisons de temps et de moyens disponibles, la zone d'étude a été limitée aux douars de la commune de Sidi Yahya ou Saâd et accessoirement à la commune d'El

Kebab au sud de Khénifra. Elle se situe au niveau du flanc occidental des causses moyens atlasiques et de la vallée d'Oued Srou. Cette dernière est caractérisée par des pentes fortes, une couverture végétale faible et un substrat souvent friable (schistes et argilites rouges du Trias). Différentes formes d'érosion hydrique (en nappe par ravinement ou solifluxion) sont observées.

La zone est habitée par des agro-pasteurs amazigh (« berbères »), assez récemment sédentarisés, qui vivent traditionnellement de l'élevage du mouton, de la culture pluviale des céréales et d'un petit maraîchage irrigué de vallée. Les arbres fruitiers et la vigne, plantés sporadiquement autour des habitations et en bordure de jardin, ne servaient traditionnellement qu'à l'autoconsommation. Cependant, depuis une dizaine d'années, avec le développement des marchés urbains, l'ouverture de pistes carrossables de plus en plus nombreuses et l'apport de nouvelles techniques par les projets et les émigrés, certains agriculteurs ont réalisés que l'arboriculture des pommes, des amandes et des olives pouvait leur permettre d'obtenir des revenus monétaires beaucoup plus importants.

Méthode d'enquête

Le travail de terrain a consisté en la réalisation d'entretiens semi-directifs ainsi qu'en l'observation technique d'aménagements antiérosifs, en général en présence du propriétaire du terrain et de membres du projet « Khenifra » (Oddi et coll., 2007).

La préparation des entretiens s'est organisée autour de :

- la prise de contact et les concertations diverses avec le personnel du projet, les autorités locales, les membres de l'« Associations de Gestion et d'Aménagement des Terroirs » (AGAT), en particulier l'association « Atlas pour le Développement » de Sidi Yahya ou Saâd et les agriculteurs ;
- la planification des rencontres ;
- la conception d'un guide d'entretien semi-directif pour la bonne conduite des enquêtes sur le terrain (Mary et coll., 1999).

Deux entretiens collectifs (en présence de la totalité des membres du groupe de travail) ont permis de tester la pertinence du guide d'entretien et d'affiner les rubriques thématiques qu'il comportait. A la suite de ces premières enquêtes, les

hypothèses de départ ont été reformulées en fonction des informations recueillies, d'analyse et de réflexion ainsi que du temps imparti (Mutel et Sibelet, 2006).

Au total 25 entretiens ont été menés. En général, ceux-ci se sont déroulés pour partie dans la résidence de l'intéressé (ou dans son bureau) et pour partie sur le terrain, pour stimuler la discussion, croiser les informations orales avec l'observation visuelle, faciliter la compréhension et mettre en évidence des contradictions ou des oublis éventuels. Les catégories de personnes interrogées et leur nombre sont donnés dans le tableau 1.

Catégories de personnes	Nombre d'entretiens
Agriculteur	16
Autorités administratives locales	3
Président de l'AGAT	1
Cadre du projet	4
Garde forestier	1

Tableau 1 : Nombre d'entretiens réalisés par catégorie de personnes

Résultats

Les enquêtes réalisées auprès des paysans se déroulant dans des conditions souvent difficiles, du fait de l'isolement des douars (accessibilité à pieds seulement), des aléas climatiques (neige et brouillard) et compte tenu de certaines difficultés de traduction (amazigh / arabe / français), seuls douze entretiens ont pu être entièrement notés et analysés. Ceux-ci ont permis d'identifier et de catégoriser les différents types d'agriculteurs sur la base d'un certain nombre de critères indicateurs. Ces critères traduisent à la fois la capacité d'investissement, les choix dans les activités agricoles, mais aussi les difficultés auxquelles les agriculteurs sont confrontés.

Types d'agriculteurs retenus :

- *Les paysans aisés (sept sur douze entretiens analysés) :*

Dans cette catégorie figurent des agriculteurs ayant des surfaces d'exploitation importantes et pratiquant l'élevage. Leurs plantations sont en général réalisées dans des secteurs profitant de l'irrigation ; celle-ci semble être une condition très importante de la rentabilité économique de l'arboriculture. Ces exploitants sont moins pénalisés par la faiblesse des mesures d'accompagnement du projet Khénifra et de l'administration car leur formation de base est plus solide et ils ont plus facilement accès aux conseils techniques. Ces exploitants ont parfois recours aux informations auprès des techniciens qualifiés (de la Direction Provinciale de l'Agriculture (DPA) par exemple). Ils ont également un meilleur accès à l'information sur l'état des marchés. Ils savent, en particulier, que la demande nationale de fruits et d'huile est en accroissement, en raison du développement urbain. Ils n'ignoraient pas, par exemple, que la demande européenne était élevée en 2007, au moins

temporairement, en raison des gels d'oliviers, en Espagne, durant l'hiver 2005-2006. Ils mettent en vente des quantités de fruits plus importantes et vendent ainsi au niveau local et lointain à des prix plus rémunérateurs. Ils emploient fréquemment de la main d'œuvre et disposent de la possibilité d'investir (achat de matériel, creusement de puits, équipement de pompes et de tuyaux d'irrigation, système de goutte-à-goutte, etc.) et d'entretenir leurs parcelles (irrigation, fertilisation, taille, récolte, etc.). Pour effectuer la taille ou les traitements, ces exploitants disposent plus facilement du matériel nécessaire (pulvérisateurs, sécateurs, etc.). Ils ont en outre souvent commencé à planter ou à faire des essais de plantation d'arbres à titre « expérimental » avant le projet Khénifra. Ils ont une bonne connaissance des principales variétés disponibles et de leur prix sur les marchés en fonction des saisons. Il faut noter que plusieurs de ces agriculteurs ont pu « s'élever économiquement et techniquement au dessus du groupe » grâce à la pluriactivité (commerçants, maçons, etc.) ou à l'immigration temporaire en Europe (récolte de fruits en Espagne, bûcherons ou maçons en France).

➤ *Les moyens (2/12) et petits paysans (3/12) :*

Contrairement aux plus aisés, les moyens et petits agriculteurs ont des exploitations de petites tailles en termes de superficie. Ils possèdent parfois quelques animaux d'élevage. Leur revenu agricole est bien souvent insuffisant par rapport à leurs besoins, ils vendent ainsi fréquemment leur force de travail. Ils emploient quelquefois une main d'œuvre dans les périodes de travail intense, comme par exemple durant la récolte. Ces agriculteurs manquent de moyens pour investir (construction de puits, de systèmes d'irrigation, etc.) et pour entretenir leur(s) parcelle(s) (irrigation, taille, fertilisation, etc.). Pour pallier partiellement à cette situation, l'AGAT met occasionnellement à leur disposition le matériel nécessaire et des techniciens pour la taille des arbres. Ils ont des difficultés d'accès à l'information et vendent leurs produits sur le marché local.

➤ *Les métayers (information informelle ou indirecte en raison des difficultés de contact) :*

Ces derniers ne possèdent pas de terre (ou quelques ares de céréaliculture hérités de leurs parents) et ils travaillent principalement pour un propriétaire détenteur du titre foncier (résidant parfois en ville ou à l'extérieur du pays). Ils n'ont évidemment pas la liberté de décision sur une terre sans l'autorisation de son propriétaire. Ces paysans manquent de moyens pour investir et d'accès à l'information.

Perception et appréciation des banquettes fruitières suivant les types d'agriculteurs

- Pour les paysans aisés, l'appropriation et l'acceptation des arbres fruitiers semblent très satisfaisantes. Les banquettes fruitières sont bien acceptées par la majorité d'entre eux. Mais la plupart disent qu'ils apprécient surtout le fait que le travail de creusement des banquettes est effectué gratuitement par le projet. Plusieurs ont déclaré que s'ils avaient eux-mêmes à réaliser le travail à leurs frais, ils préféreraient des demi-lunes, moins chères à installer, plus faciles à
-

entretenir et présentant moins de risque de rupture en cas d'orage, ainsi que de dégradations progressives par le passage des animaux et des hommes. Pour eux, les banquettes fruitières :

- permettent une valorisation de leur terre ;
- sont plus rentables que la céréaliculture pluviale, malgré les besoins plus importants en main d'œuvre et les frais plus élevés qu'elles nécessitent ;
- génèrent des revenus supplémentaires sur le long terme ;
- permettent d'aménager plus facilement un système d'irrigation par goutte-à-goutte.

Pour les petits et moyens paysans, les enquêtes directes demandent plus de temps pour une mise en confiance. Etant donné le court temps imparti pour l'étude et parfois la difficulté d'accès à l'information, le nombre de personnes interrogées reste faible. De ce fait, il a été nécessaire d'obtenir des informations indirectes auprès de personnes connaissant bien la commune. Cette catégorie d'agriculteurs rencontre plus de difficultés que le groupe précédent. Ces agriculteurs sont conscients des



avantages qu'apporte la réalisation des banquettes fruitières dans leur parcelle. Ils ont cité notamment la meilleure rentabilité de l'arboriculture via la valorisation de la terre mais également celle du travail. Le travail sur le chantier entraîné par la mise en place de tels aménagements et celui que dégagent les arbres fruitiers au moment de la récolte sont également des profits directs. Ces agriculteurs sont souvent dans l'incapacité d'entretenir et d'irriguer leur terre. L'accès à l'irrigation est plus difficile pour ces petites exploitations :

- ils ne peuvent utiliser que l'irrigation gravitaire par canaux (séguías) (Photographie 3) mais ne disposent pas toujours des droits d'eau, ou en quantité et en durée hebdomadaire insuffisante.

Photographie 3 :

Irrigation gravitaire d'une banquette fruitière et semis de blé intercalaire

Ceci compromet la rentabilité économique de la plantation fruitière, en particulier pour les espèces exigeantes en eau comme les pommiers et, dans une moindre mesure, les oliviers. Ces agriculteurs manquent clairement de moyens techniques comme financiers pour s'investir dans de tels aménagements. Ils considèrent parfois que leur surface de production agricole est trop faible pour réaliser des banquettes fruitières. De plus, ces petits exploitants vendent souvent une part importante de leur temps de travail en ville ou comme ouvriers sur d'autres exploitations. Ils manquent

alors de temps pour se consacrer à leur propre exploitation et évidemment pour s'investir dans de nouvelles cultures. En effet, la gestion d'un verger demande un investissement en temps et en autres ressources qui ne sont pas toujours disponibles sur une petite exploitation en difficulté. L'arboriculture entraîne un surplus de travail et de frais qu'ils sont dans l'incapacité de gérer. Ils préfèrent donc se contenter de la céréaliculture. Enfin, pour d'autres agriculteurs, réaliser ces ouvrages représente un risque ; or, étant en limite de survie, ils ne peuvent s'en permettre aucun. Ils sont réticents face à la nouveauté et au changement de leurs pratiques agricoles. Ils préfèrent « voir chez les autres » avant de s'engager. On peut constater que la plupart des paysans les plus pauvres qui acceptent de planter les arbres fournis par le projet ne se les approprient pas vraiment. Cette acceptation est en effet liée aux salaires versés par l'entrepreneur pour leur participation à la construction des banquettes, les arbres étant ensuite fournis gratuitement.

-Pour les métayers, l'appropriation et l'acceptation des banquettes sont différentes. N'ayant pas de propres terres, ils n'ont pas de pouvoir de décision sur l'aménagement des banquettes et ne peuvent pas en installer pour eux-mêmes. En revanche, les banquettes génèrent des opportunités de travail à courts termes (chantier) et à longs termes (entretien des vergers et récolte). Ces agriculteurs les trouvent donc bénéfiques dans le cadre de leurs revenus sans pouvoir juger de leur pertinence.

Limites des effets antiérosifs des banquettes

Les agriculteurs constatent majoritairement que les banquettes contribuent à la lutte antiérosive puisqu'elles piègent l'eau de ruissellement et facilitent son infiltration, au moins dans un premier temps. Elles sont plus efficaces durant les orages intenses et courts qu'en périodes de longues pluies. Par contre, sur le long terme, leur efficacité n'est assurée qu'à la condition qu'elles soient entretenues régulièrement. En effet, une banquette mal entretenue peut entraîner la création de nouvelles rigoles qui engendrent la formation de ravines (Photographie 4). De plus, des systèmes d'irrigation avec des seguias sont souvent installés par les agriculteurs pour arroser les arbres plantés sur les banquettes. Si ces systèmes ne sont pas maîtrisés durablement, ils peuvent accélérer gravement les processus de ravinement, comme cela a pu être observé chez deux agriculteurs, sur des pentes supérieures à 50%, à Sidi Yahya et à El Kebab.



Photographie 4 :
Banquettes sur forte pente, non entretenues et ravines

Perception économique de l'introduction de l'arboriculture

D'après la majorité des personnes interrogées, l'arboriculture est une activité agricole fortement génératrice de revenus. Ainsi, le débat portant sur le choix entre céréaliculture et arboriculture est d'actualité chez les agriculteurs du Moyen-Atlas. Ce choix n'est pas toujours évident et beaucoup d'entre eux se sont interrogés sur leurs productions et sur les autres possibilités de revenus.



Photographie 5 :
Murette non entretenue installée par un ancien projet

Il leur semble que les plus grosses contraintes pour passer de la céréaliculture à l'arboriculture sont la possibilité d'irrigation et la disponibilité de moyens financiers. Pour le choix des espèces fruitières, les critères mis en avant par les agriculteurs sont la valeur commerciale des fruits et la possibilité de les commercialiser, ainsi que les exigences écologiques des différentes espèces (besoins en eau, minéraux, altitude, ensoleillement ...).

Perception de l'effet antiérosif du système arboriculture / céréaliculture

En terme de lutte antiérosive, agriculteurs et techniciens pensent tous que l'arbre a un effet direct sur l'érosion grâce à son couvert et à ses racines mais que celui-ci reste néanmoins faible. Par contre, les effets indirects du passage de la céréaliculture pluviale à l'arboriculture sur l'érosion sont jugés importants. L'agriculteur introduit parfois dans les parcelles irriguées des espèces fourragères comme la luzerne. Ainsi, l'augmentation des ressources fourragères disponibles sur l'exploitation favorise le développement d'un élevage bovin intensif et facilite la diminution du cheptel ovin qui participe souvent à la dégradation de la forêt de chêne vert et au surpâturage des chaumes et jachères. De plus, après la première récolte donnée par les arbres fruitiers, la pratique de la céréaliculture entre les arbres est normalement arrêtée. Le sol peut ainsi s'enherber, ce qui diminue l'érosion hydrique et supprime l'érosion aratoire liée au labour du sol dans ces parcelles. D'autre part, la valorisation du travail et de la terre entraînée par l'installation des arbres fruitiers permettent l'obtention de bénéfices plus élevés. Il semble que l'abandon de la céréaliculture dans les parcelles les plus pentues en soit facilité. La végétalisation des pentes raides (installation d'une végétation pérenne) en résulte.

Propositions paysannes d'alternatives à la banquette

En matière de lutte contre l'érosion, certains agriculteurs donnent la priorité à des aménagements plus légers, à savoir les murettes en pierres sèches construites avec les pierres résultant de l'épierrage, comme cela a pu être vu chez trois agriculteurs.

Il s'agit d'une technique d'aménagement des pentes. Elles sont installées en courbes de niveau. Leur fonction antiérosive consiste à diminuer l'érosion aratoire, à réduire la pente (facilitant la culture des parcelles) et à disperser le ruissellement en surface. Néanmoins ces rôles divers ne sont assurés qu'à condition que les murettes soient régulièrement entretenues et contrôlées après chaque averse. La Photographie 5 illustre la non-appropriation d'une murette installée lors d'un projet, car on peut voir que la base et le sommet n'en ont pas été renforcés depuis sa création, si bien qu'elle menace ruine, au risque de relancer, très prochainement, une forte érosion régressive.

Les seuils en pierres sèches constituent une variante des murettes dans l'aménagement des talwegs. De la même façon que pour les murettes, ils retiennent la terre et maintiennent la fertilité du sol. Leur fonction consiste également à disperser l'eau qui a naturellement tendance à se concentrer au milieu du talweg et à éviter ainsi l'incision à ce niveau. Selon la force du ruissellement, des variantes plus ou moins lourdes, avec ou sans semelle parafouille, sont préconisées par les techniciens du Projet. Les ouvrages sont constitués de pierres plus ou moins massives. Ils s'accompagnent ou non d'une végétalisation de l'atterrissement du seuil pour améliorer sa résistance. Pour les plus petits talwegs, des alternatives moins coûteuses existent : abandon du labour du fond du talweg, enherbement du talweg, petits seuils biologiques ...

En matière d'arboriculture, plusieurs agriculteurs estiment que la technique de la « demi-lune » est moins coûteuse que la banquette (deux agriculteurs à Sidi Yahia et un à El Kebab ont réalisés des travaux remarquables par la construction de demi-lunes dont le bourrelet aval est renforcé par un mur de pierres sèches (Photographie 6). De plus, au moment de l'irrigation des arbres plantés par séguias, elle ne pose pas de problèmes, contrairement à la banquette. Le diamètre de la cuvette varie de 1 à 3 mètres en fonction de la densité de plantation. Il est estimé qu'un ouvrier peut confectionner environ 5 cuvettes par jour.



Photographie 6 :
Plantation d'oliviers sur demi-
lunes renforcées par un
solide mur de pierre

Confusion entre l'intérêt des banquettes et celui de l'arboriculture

La majorité des agriculteurs, quelques soient leurs catégories, sont conscients du phénomène d'érosion. « Les eaux de pluies entraînent ma terre » et « les ravines creusent mes terrains », disent-ils. Cependant, en matière de lutte antiérosive, pour la plupart d'entre eux, les banquettes ne constituent pas le moyen le plus efficace et ils trouvent les aménagements de types murs de pierres et gabions plus efficaces et plus adaptés à leurs problèmes.

En revanche, lorsque les banquettes fruitières leur sont proposées dans le cadre d'un programme de lutte antiérosive, ils acceptent d'en installer chez eux. En effet, ils sont lucides, l'arboriculture représente une valorisation de la terre et un apport de revenu sur le long terme. Pour les agriculteurs, il est évident qu'ils ont tout à gagner dans la mise en place de banquettes financées par l'Etat ou un projet.

Ainsi, il semble que les paysans associent à l'image de la « banquette » celle de l'« arboriculture » sans faire de distinction réelle entre les deux. L'action antiérosive de la banquette n'apparaît quasiment pas, voire pas du tout dans leur discours et donc dans leur perception.

Il existe donc une forte dynamique de développement de l'arboriculture. Le degré d'acceptation de l'arbre fruitier est élevé mais il est important de le dissocier de l'acceptation de la banquette en elle-même.

Discussion

Les banquettes fruitières, du fait de leur influence sur la valorisation de la terre et du travail rémunéré des paysans bénéficiaires, apparaissent plus comme un outil de développement rural que comme un moyen de lutte antiérosive. L'intérêt économique de l'arboriculture semble évident par rapport à la céréaliculture. Il est

confirmé par le fait que dans la zone d'étude, beaucoup de paysans aisés plantent des arbres fruitiers en dehors de l'aide d'un projet.



Les projets de DRS « à l'ancienne » imposaient le remodelage de versants entiers (Photographie 7), sans trop prendre en compte le point de vue et les limites de parcelle des paysans qui les mettaient en valeur (appelé l'approche impérative au Maroc) (PNABV, 1996).

Photographie 7 :
Aménagement en banquette de tout un versant

Au contraire, le projet Khénifra s'est appuyé sur une demande paysanne clairement identifiée. De plus, la distribution d'arbres fruitiers n'a pas été limitée aux seuls paysans ayant accepté la construction de banquettes sur leurs terres. La rupture avec les projets antérieurs, où la banquette apparaissait surtout comme un aménagement réalisé par l'Etat, est importante. Cependant, le projet est resté à mi-chemin entre un projet de DRS à l'ancienne et un projet de développement rural. Ainsi, il aurait peut être été préférable de faire d'abord réaliser des banquettes par quelques agriculteurs aisés, d'observer les résultats obtenus et de constituer ainsi des références crédibles avant d'organiser une diffusion plus large de la nouvelle technique. Mais une telle stratégie de développement demande plus de temps, une ressource dont le projet ne disposait pas. Ainsi, même si l'appropriation est probablement meilleure que dans les anciens projets, il est possible qu'elle ne soit que peu acquise pour les petits et moyens agriculteurs.

Évaluer l'appropriation de la banquette fruitière par les agriculteurs nécessite de travailler à la fois sur leur perception de la banquette comme outil de lutte contre l'érosion et sur leur perception de l'arboriculture associée à la banquette. Or, au Moyen Atlas comme un peu partout ailleurs, la problématique de l'érosion des sols est avant tout une problématique importée par les projets. Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de préoccupation paysanne par rapport à certaines manifestations de l'érosion, préoccupation qui se traduit que par de rares aménagements. Mais ce thème a surtout été importé de l'extérieur, associé tantôt à la stigmatisation de certaines pratiques agricoles et tantôt à d'intéressantes possibilités de rémunération lors de la réalisation d'aménagements antiérosifs. Pour accéder à des informations sur la préoccupation initiale d'un agriculteur par rapport à l'érosion, il faut mener l'enquête sur le terrain, face à des signes de l'érosion ou, mieux, face à de petits aménagements paysans réalisés par eux-mêmes ou par leurs voisins. Lors des enquêtes menées en chambre, le risque est élevé de les voir répondre en fonction

de leurs intérêts pour des aménagements sources de revenus immédiats (salaires). Autrement dit, la fiabilité des informations fournies est incertaine.

D'autre part la construction d'une banquette fruitière nécessite l'acceptation du propriétaire du terrain. Lorsque ce propriétaire est en ville ou à l'étranger, l'exploitant de la parcelle peut avoir du mal à obtenir cet accord. L'acceptation de la banquette par le paysan semble souvent plus liée au salaire que lui verse l'entrepreneur, plutôt qu'à une perception claire de l'intérêt de la banquette en elle-même. Certains agriculteurs refusent la construction de banquettes parce que les inconvénients dus à la diminution de la surface cultivée et la gêne apportée aux travaux est supérieure aux bénéfices tirés du salaire fourni. D'autres agriculteurs peuvent aussi refuser la construction d'une banquette parce qu'elle constitue quelque chose de nouveau (contrairement à la demi-lune) et qu'ils préfèrent attendre « pour voir » les résultats que donnent les plantations.

Enfin, plusieurs agriculteurs ont également insisté sur la qualité du travail topographique (horizontalité) dans la confection des banquettes fruitières et la qualité douteuse des plants y étant associés. Certains se sont plaints du travail trop rapide des ouvriers, de certaines défauts dans la confection des banquettes, etc. Malheureusement, la durée de l'étude a été trop courte pour réaliser des reconnaissances plus approfondies sur le terrain et des enquêtes en plus grande quantité auprès des agriculteurs.

Quelques difficultés restent à souligner. Il semble que les agriculteurs apprécieraient un encadrement technique plus important. La faiblesse des mesures d'accompagnement serait une raison majeure de la mauvaise valorisation économique des plantations. Les agriculteurs ont notamment insisté sur l'accompagnement en termes d'entretien (taille des arbres, fertilisation, traitements phytosanitaires, irrigation), et de commercialisation. Mais le financement de l'AGAT n'est pas garanti et dépend de sa capacité à mobiliser des fonds pour de nouveaux projets. Les structures administratives « classiques », comme la DPA, sont chargées d'assurer le suivi sur le long terme. Toutefois, ces structures administratives ne semblent pas disposer de ressources financières, humaines et techniques nécessaires. Il semble que la DPA n'ait été que faiblement associée au projet. Dans le cadre d'un tel projet, la mise en place d'un volet de formation en arboriculture et des fonds prévus pour appuyer les administrations dans leurs tâches pourraient améliorer l'aide portée par les bailleurs de fond en matière de développement rural.

Photographie 8 :
Technicien faisant une
démonstration de taille chez un
« néo-arboriculteur »



Plus de mesures d'accompagnement encourageraient davantage les agriculteurs dans la bonne réalisation de leurs travaux. Le projet fournit certains de ces services par l'intermédiaire de l'AGAT (par exemple, la formation des techniciens pour la taille) (Photographie 8) et il favorise la commercialisation par l'amélioration du réseau routier

A cause de contraintes économiques et temporelles, un projet travaille dans le court terme et apporte des techniques standardisées souvent mal connues de la population. La vitesse de ce changement de pratiques agricoles est forcément plus rapide que celle du développement. Les efforts mis en œuvre dans le projet Khénifra ne seront réellement effectifs dans le développement rural qu'à la condition que ce dynamisme soit maintenu sur le long terme.

D'autre part, l'aménagement des systèmes d'irrigation constitue également une difficulté car les banquettes fruitières ne sont pas prévues pour l'irrigation. Même si les agriculteurs profitent de l'aptitude des banquettes à piéger l'eau de ruissellement, ils aménagent également des canaux qui peuvent entraîner des processus de ravinement. La demi-lune, avec acheminement de l'eau par la création de petits chenaux intermédiaires, peut être une alternative compatible avec le besoin d'irriguer.

Enfin, il faudrait certainement que les techniciens chargés de la lutte antiérosive (LAE) admettent que, dans les montagnes méditerranéennes, sujettes à des épisodes pluvieux épisodiques de plus en plus violents, **il est impossible de vouloir faire infiltrer toute l'eau de pluie dans le sol des parcelles agricoles**. Les dangers pour le sol, lors des épisodes extrêmes sont supérieurs aux avantages, en période de pluviométrie modérée. Des systèmes de LAE doivent obligatoirement inclure un robuste système de débordement de l'eau en cas d'excès de pluie, qui peut se confondre avec le système d'irrigation, en cas de sécheresse, du moins là où cela est possible.

Conclusion

Le projet de développement rural participatif de Khénifra a eu pour objectif d'améliorer les conditions de vie des populations rurales des zones concernées. La réalisation des banquettes fruitières par le projet a rempli cet objectif et s'est inséré également dans une stratégie de lutte antiérosive.

Les arbres fruitiers des banquettes ont été acceptés par les agriculteurs ; mais en termes de mesures de DRS, ceux-ci n'ont pas tous vu l'intérêt des banquettes. Ainsi, pour les agriculteurs comme pour le projet, les banquettes fruitières, apparaissent plus comme un outil de développement rural qu'un moyen de lutte antiérosive.

En fonction des objectifs à atteindre, lutte antiérosive ou valorisation agricole, d'autres alternatives moins onéreuses sont techniquement envisageables. Cependant, à l'échelle temporelle et économique d'un « projet », raisonnant sur le court terme, ces alternatives sont peu compatibles.

Un projet travaille avec des budgets considérables. Il apporte des changements rapides. Pour que ses effets bénéfiques soient durables, il est important de s'assurer de la capacité des agriculteurs à poursuivre les actions entreprises.

Au niveau de l'approche de vulgarisation d'un projet de développement rural, les auteurs pensent donc qu'il aurait été plus efficace de dissocier les messages portant

sur la lutte antiérosive de ceux qui concernent l'arboriculture. Pour une meilleure résilience des systèmes sociaux-écologiques (Walker et coll., 2009), il aurait fallu travailler sur une plus longue durée, en tenant compte des savoirs traditionnels et en assurant l'accompagnement et la formation des agriculteurs.

Remerciements

Les auteurs remercient particulièrement les collègues du projet Khénifra qui les ont conseillé et accompagné tout au long de la phase de terrain et, en particulier, les agents de développement Rabach Lahcen et Hamou Bouifrane, le directeur Hamid Stitou et le conseiller technique Manuel Courtieux, sans oublier, à Montpellier, Gilles Mille et Alain Billand.

Ils tiennent également à remercier les membres de l'AGAT de Sidi Yahya ou Saâd et en particulier son président Haddou Mghari ainsi que le traducteur Boulahcen Elhoussaine.

Bibliographie :

Geomatic , 2007. (<http://www.geomatic.ma/>)

Mary F., Sibelet N. et Smektala G., 1999. Guide méthodologique pour la conduite d'une étude en milieu rural. Cours de l'ENGREF, Montpellier, France, 33 p.

Mutel M. et Sibelet N. , 2006. Méthode d'enquête socio-économique en milieu rural et base de l'épistémologie. Cours de l'ENGREF, Montpellier, France.

Oddi A., Schneider F., Amia F., Kübler F., Wiesinger T-K., Mengome-Ango A-Y., Lilin C., Peltier R. et Sabir M. , 2007. Contribution à l'évaluation de la pertinence technique et socio-économique des mesures de Défense et Restauration des Sols (DRS) dans la région de Khénifra (avec accent sur la banquette fruitière). Agro-ParisTech-Engref Montpellier, France et ENFI Salé Maroc, 30p.

Peltier R., Sabir M., Lilin C., Oddi A., Schneider F., Amia F., Kübler D., Wiesinger T-K., Mengome-Ango A-Y. 2010. La banquette antiérosive fruitière dans le Moyen Atlas marocain : le projet Khénifra. Vertigo-Regards/Terrain 2010. Institut des Sciences de l'Environnement, Université du Québec, Montréal, Canada.

PNABV, 1996. Plan National d'Aménagement des Bassins Versants, Rapport de Synthèse (Phase II). 16 p. (<http://www.eauxetforets.gov.ma/pabv.htm>)

Roose E., 1994. La Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols (GCES). FAO, Rome, 420p.

Sabir M., 2003. Identification, priorisation et budgétisation des travaux de ces dans la zone d'action du projet Khénifra. ENFI, Salé, Maroc, 60 p.

Schlaifer M, 2005. Assistance technique à l'unité de gestion du projet "Développement rural participatif dans le Moyen Atlas Central" Khénifra, Maroc. Khénifra, Maroc.

Walker B., Sayer J. and Andrew N., 2009. Resilience in practice: Challenges and opportunities for natural resource management in the developing world. Background paper to the CGIAR 2009 Science Forum workshop on: "Resilient natural resource systems". 30 p. <http://www.scienceforum2009.nl>

Aspects socio-économiques des techniques traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols dans la région de Béni Snous (Wilaya de Tlemcen- Nord Ouest Algérien)

ZEKRI-BELLAHCENE N., MAZOUR M., SALHI B. et TRANDJI M.

Email : nadia_z1978@yahoo.fr

Résumé

La région de Béni Snous dans la wilaya de Tlemcen (NO Algérien) se caractérise par la présence de techniques traditionnelles de GCES mises en place par les paysans depuis plusieurs siècles, et de techniques modernes (DRS) récemment mises en place par l'Administration des Forêts.

Cette étude a comme objectif l'analyse du comportement actuel des deux techniques utilisées et la comparaison entre elles sur le plan coût, efficacité, maîtrise de l'érosion et de l'influence socioéconomique vis-à-vis des populations rurales.

L'observation et l'analyse des techniques traditionnelles permettent de constater une stabilité et une efficacité vis-à-vis de l'érosion remarquables. Les techniques modernes sont par contre souvent abandonnées malgré un coût de réalisation très élevé.

Il est donc plus intéressant économiquement d'intervenir dans la lutte antiérosive par des techniques simples adaptées aux conditions agro écologiques et aux caractéristiques socioéconomiques des régions lors des premiers stades du phénomène érosif et assurer continuellement leur entretien que d'intervenir tardivement par des moyens qui affectent lourdement le patrimoine foncier du pays sans une efficacité satisfaisante sur la productivité des terres aménagées.

Mots clés : Algérie NO, Gestion durable, Rapport coût/efficacité, Techniques antiérosives traditionnelles et modernes, Maintenance des aménagements.

Abstract

The region of Béni Snous which is situated in Tlemcen's department (Algerian NO) is characterized by the presence of traditional management built by farmers for several centuries and of modern management (DRS) recently imposed by the central Administration of Forests.

This study is an analysis of the current behaviour of both techniques and the comparison between them cost efficiency, control of the erosion and the socio-economic impact on the rural populations.

The observation and the analysis of the traditional techniques allow to a direct observation of stability and efficiency against erosion. On the other hand, the modern techniques are often abandoned although their high results in the domain.

So it is more interesting economically to intervene in the antierosive struggle by simple techniques adapted to the conditions agro ecological and in the socio-economic characteristics of the regions during the first stages of the erosive phenomenon and to assure constantly their interview that to intervene late by means which affect heavily the land heritage of the country without a satisfactory efficiency on the ground.

Keywords: Algeria NO., Sustainable management, Ratio cost / efficiency, anti-erosive traditional and modern techniques, Maintenance.

Introduction

Malgré les lourds investissements que l'état Algérien a consenti pour lutter contre l'érosion hydrique, les sols continuent de se dégrader et les barrages à s'envaser à des rythmes accélérés. Le coût global d'un seul projet d'aménagement antiérosif atteint des millions d'Euros mais l'efficacité reste souvent insuffisante.

La région de Béni Snous dans la wilaya de Tlemcen (NO Algérie) se caractérise par la présence de techniques traditionnelles de GCES (terrasses, murettes, cordons en pierres... avec certaines techniques de gestion des eaux) mises au point par les paysans depuis plusieurs siècles et de techniques modernes (DRS) récemment mises en place par l'Administration des Forêts.

Le présent travail a comme objectifs, l'analyse du comportement actuel des deux techniques citées ci-dessus, la comparaison entre elles sur le plan coût/efficacité, maîtrise de l'érosion et de l'impact socioéconomique vis-à-vis des populations rurales.

Matériels et méthode :

La zone d'étude d'une superficie de 25,3 km², fait partie de la commune de Béni Snous et se trouve dans le bassin versant d'oued El Khemis à 12 km au Sud-Ouest du barrage de Béni-Bahdel. Le relief est très accidenté : la pente moyenne varie entre 20 et 60% et les altitudes sont comprises entre 500 et 1700m. La nature des terrains présente une dominance de sols bruns à substrat calcaire. Le reste sont des sols rouges très riches en matière organique et à texture argilo-sableuse. L'étage climatique est de type semi-aride à hiver frais. Cette région est fortement menacée par l'érosion. La vigueur du relief et l'agressivité du climat intensifient énormément ce phénomène, sans oublier la pression anthropique localement très élevée.

La méthodologie de travail utilisée est basée sur des observations directes sur le terrain en avril et juin 2008 sur l'état actuel des dispositifs, ainsi que sur les travaux scientifiques et les informations recueillies sur la région d'étude. Lors des sorties sur terrain, nous avons élaboré des dialogues avec les paysans pour nous aider à expliquer certaines situations.

Nous avons distingué les techniques traditionnelles et modernes suivantes (tableaux 1 et 2) :

Tableau n°1 : Comportement de quelques aménagements traditionnels de la conservation de l'eau et des sols en fonction de certains facteurs dans la région de Béni-Snous

Facteurs Analysés Aménagements antiérosifs traditionnels	Efficacité pour la conservation de l'eau et du sol	Durabilité	Reproductibilité	Productivité des terres aménagées	coût	Rapport coût / efficacité
- Murets avec terrassettes	++	++	+++	+++	+	++
- Cordons en pierres	+	+	++	+	+++	++
- Culture en Billons	++	+	+++	+++	+++	+++
- Travail à l'araire	++	+	++	++	++	++
- Mulching en paille	++	+	+++	++	++	++
- Jachère cultivée	++	+	+++	++	++	++
- Utilisation du fumier.	++	++	+++	+++	++	++
- Dérivation des eaux :						
Séguia	++	++	+	+++	+	++
Sed	++	+	+	+++	+	++
-Stockage des eaux (Jboub)	+	+	+	+	++	+

Légende :

Pour les quatre premiers critères : +++ bonne ; ++ assez bonne ; + médiocre.

Coût : +++ plus chère ; ++ chère ; + moins chère.

Séguia : canal de dérivation et de collecte des eaux réalisé en terre ou en pierres agencées.

Sed : ouvrage de stockage d'eau à l'amont d'une diguette réalisé généralement en terre transversalement à un cours d'eau temporaire avec un déversoir latéral. D'une capacité de quelques milliers de m³

Jboub : ouvrage de stockage d'eau de petite capacité réalisé au niveau des ravines. Il sert surtout à l'abreuvement du cheptel.

En observant le tableau ci dessus, nous remarquons que les techniques traditionnelles ont généralement un impact positif sur la conservation du sol et sur l'amélioration de la productivité et la fertilité des terres aménagées.



Photo 1 Terrasses cultivées en arboriculture (prunier, pommier, noyer).



Photo 2 Terrasse en jardin méditerranéen



Photo 3 Cuvette d'infiltration en demi-lune autour d'un olivier



Photos 4 et 5 Terrains aménagés par des cordons en pierres.

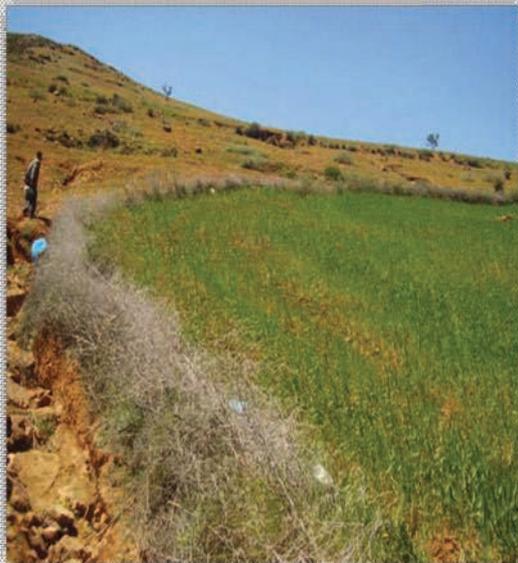


Photo 6 Champ de blé clôturé par des résidus de jujubier (pour le protéger contre le pâturage et l'érosion).

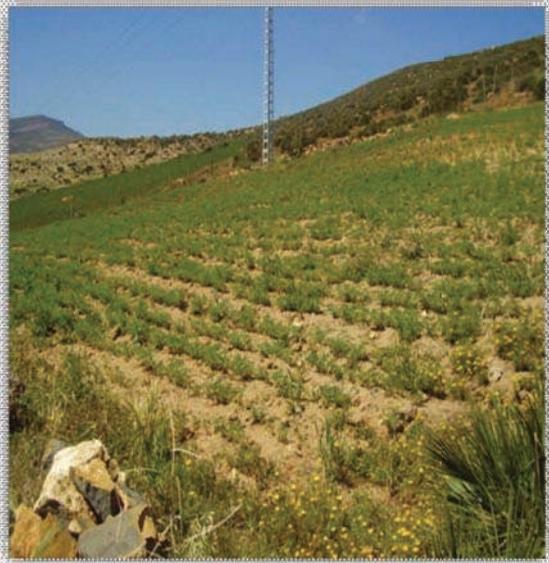


Photo 7 Culture de pois chiche selon les courbes de niveau (L.A.E.).

Tableau n°2 : Comportement de quelques ouvrages de correction torrentielle dans la zone d'étude.

Type de seuil	Dimension de l'ouvrage			Volume (m ³)	Fondation	Ancrage	Bassin de dissipation	Atterrissement à l'amont de l'ouvrage	Reprise biologique	Coût	Coût/efficacité
	L (m)	I (m)	H (m)								
Seuils en gabions	30	4	2	240	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	25	3.5	2	175	+++	+++	+++	+++	+	+	+
	30	4	2	240	+++	+	+++	+++	++	++	++
	20	3	1.5	90	+++	++	+++	+	+	++	+
	30	4	2	240	+++	+++	+++	+	+	+	+++
Seuils en pierres sèches	30	3	1.5	135	+	+	+	++	+	+	++
	12	6	2.5	315	+++	+++	+++	++	++	++	++
	12	6	6	423	+++	++	++	+++	+++	+	++
	30	5.5	5.5	753	+++	+	+	+	+	++	+++
	8	6	6	120	++	+++	+	+	+	+	+

Légende :

L : longueur ; I : largeur ; H : hauteur.

Fondation et l'ancrage : +++ bonne ; ++ assez bonne ; + médiocre.

Reprise biologique (installation de la végétation à l'amont de chaque seuil) :

+++ bonne ; ++ assez bonne ; + absente.

Atterrissement : +++ bon ; ++ assez bon ; + absent.

Bassin de dissipation : +++ bon ; ++ assez bon ; + absent.

Coût : +++ plus chère ; ++ chère ; + moins chère.

En observant le tableau ci-dessus où les coûts des différents seuils ont été évalués et comparés nous constatons que les seuils en gabions sont les plus chers et ceux qui exigent le plus de technicité. Malgré leur faible efficacité, les seuils en pierres sèches sont en surnombre ce qui engendre des surcoûts importants.



**Photo 8 Série de seuils en gabions
(taux d'atterrissement moyen à faible, érosion active).**



**Photo 9 Seuil en pierre sèche surdimensionné
avec peu d'efficacité et de stabilité.**

Résultats et discussion :

L'étude des différentes techniques antiérosives rencontrées dans la région de Béni Snous, nous a permis de dégager les constatations suivantes :

Pour les techniques traditionnelles :

En observant ces techniques présentes depuis longtemps (dés l'époque des Andalous d'après la population locale) dans la région de Béni Snous nous avons constaté une stabilité et une efficacité remarquables.

Ces techniques présentent une parfaite adaptation aux conditions agro-écologiques et socio-économiques de la région. Leur présence jusqu'à nos jours prouve que les agriculteurs ont toujours entretenu ces aménagements.

Néanmoins, ces derniers restent éparpillés : dans certaines terres ils sont carrément délaissés suite aux héritages successifs des terres, à l'exode rural et à l'abandon des activités agricoles.

Pour les techniques modernes :

En étudiant les techniques récemment mises en place par l'Administration des Forêts (correction torrentielle, plantation de fruitiers rustiques) on a remarqué :

- un choix très limité dans les types d'ouvrages installés (seuils en gabions et seuils en pierres sèches seulement) parfois inadaptés au terrain en place ;
- une densité de seuils parfois exagérée ;
- un atterrissement à l'amont des ouvrages moyen à faible ;
- une remonté biologique insuffisante à l'amont des ouvrages ;
- une efficacité incertaine vis-à-vis de l'érosion ;
- Il faut aussi signaler les coûts très élevés de ces ouvrages : les seuils en gabion ont été réalisés avec un prix unitaire de 30euros/m³ et les seuils en pierres sèches avec 23euros/m³. Avec un nombre de seuils en gabions plus important que celui des seuils en pierres sèches et sans oublier les autres types d'aménagements installés (plantation rustique, talus, fixation des berges...), le coût global des aménagements atteint des millions d'euros.
- Les coûts sont très élevés, mais malheureusement l'efficacité des techniques sur terrain est limitée et ne justifie certainement pas ces investissements.

Cela peut être dû à :

- l'emplacement des séries de seuils est surtout sur les ravines les plus proches du barrage de Béni Bahdel ou des villages, alors que les ruissellements les plus importants proviennent des parties situées plus à l'amont qui sont pratiquement dénudées (affleurement de la roche mère) ou des sols peu profonds tassés par le parcours et où la pente est forte ;
- certaines malfaçons dans la conception des ouvrages nécessitant une technicité élevée (mauvais ancrage, déversoir ou un bassin de dissipation mal construits ou absents...) et parfois tout le seuil épouse mal le terrain (surtout les seuils en pierres sèches) et cela va certainement se répercuter sur la stabilité et la durabilité de l'ouvrage car il devient plus fragile et plus vulnérable aux crues.
- au surpâturage qui engendre une dégradation sévère de la végétation et des sols par le tassement de la couche superficielle suite au piétinement par les troupeaux ;

- l'absence d'entretien et de suivi des techniques installées; les techniques sont souvent mises en place puis abandonnées à elles mêmes. La population locale, non convaincue de leur intérêt, et non intégrée dans leurs réalisations, ne donne pas un bon accueil à ces mesures imposées par les autorités administratives.

Conclusion :

Au terme de ce travail, il apparaît clairement qu'il est nécessaire de privilégier, dans le cadre des nouvelles stratégies de conservation de l'eau et du sol, toutes les techniques ancestrales qui ont prouvé leur efficacité à travers le temps, mais surtout celles que les agriculteurs ont adoptées, adaptées et maîtrisées.

Il est plus intéressant économiquement d'intervenir dans la lutte antiérosive par des techniques simples lors des premiers stades du phénomène érosif et assurer continuellement leur entretien que d'intervenir tardivement par des moyens qui affectent lourdement le patrimoine foncier du pays sans une efficacité satisfaisante sur le terrain.

Il est prouvé, actuellement après plusieurs années de recherche, que les techniques de la L.A.E. ne peuvent être durables et efficaces que par l'intégration de la population locale ainsi que leurs intérêts. La communauté rurale, convaincue par les apports des mesures antiérosives sur le maintien des terres et des eaux, va probablement les entretenir et assurer leur pérennité.

Références bibliographiques

- Greco J., 1966.** L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. Ed. M.A.R.A., Alger, 393p.
- Heddadj D., 1997.** La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull. Réseau Erosion n° 17, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, pp 168-175.
- Laouina A., 1998.** Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb, Bull. Rés. Erosion, n°18, ORSTOM, Montpellier, p.33-53.
- Leblond B. et Gherin L., 1984.** Travaux de conservation des sols. L'étude des projets et leur réalisation par des techniques à haute intensité de main d'œuvre. Ed.,PNUD-OIT/81/044,Genève,223p.
- Mazour M., 2004.** Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser – Tlemcen. Thèse de Doctorat d'état, Université de Tlemcen ; 184 ; 131p.
- Mazour M., Morsli B., Roose E., 2006.** Analyse de quelques techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol dans le Nord-Ouest Algérien. ISCO, Marrakech.
- Remini B., 2000.** L'envasement des barrages – quelques exemples algériens. Bull. Réseau – Erosion n°20, Ed. IRD (ex. Orstom), Montpellier, pp 165 – 171.
- Roose E., 1991.** Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie, la GCES. Cah.Orstom Pédol., 26, 2 : 145-181.
- Roose E., Chebbani R., Bourougaa L., 2000.** Ravinement en Algérie: typologie, facteurs et Restauration. Sécheresse,11...
- Roose E., Sabir M., De Noni G., 2002.** Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéens.Bull. Réseau Erosion 21, 523p, IRD Paris et ENFI Rabat, eds
- Taabni M., 1998.** Aménagement, lutte contre l'érosion des terres et pratiques paysannes dans les montagnes telliennes du Nord Ouest Algérien. Bull., Réseau-Erosion n°18, Ed., IRD(ORSTOM), Montpellier, pp348-362.
- Zekri N., 2000.** Analyse des aménagements antiérosifs dans un micro bassin versant à l'amont du barrage de Hammam Boughrara (Wilaya de Tlemcen – Nord Ouest Algérien). Mém. Ing., Département Foresterie, université de Tlemcen, 70p.

Agriculture sur pentes au Vietnam: une nécessité pour la sécurité alimentaire et un risque pour la durabilité du système agricole

**Didier Orange⁽²⁾, Pham Quang Ha⁽¹⁾, Tran Duc Toan⁽³⁾, Floriane Clément⁽²⁾,
Pascal Jouquet⁽²⁾, Nguyen Duy Phuong⁽³⁾ et Nguyen Van Bo⁽⁴⁾**

(1) IAE, Institute for Agricultural Environment, VAAS, MARD, Hanoi; (2) IRD/IWMI, MSEC program, UMR211-Bioemco, Hanoi ; (3) SFRI, Soils and Fertilizers Research Institute, VAAS, MARD, Hanoi; (4) VAAS, Vietnamese Academy for Agricultural Science, MARD, Hanoi, Vietnam

Correspondant et conférencier: Dr Pham Quang Ha, haphamquang@fpt.vn

Résumé :

Tandis que les zones de montagne moins peuplées apportent les ressources en eau qui permettent aux plaines de prospérer, les habitants des zones montagneuses continuent à souffrir de pauvreté, de faibles productivités agricoles accompagnées de dégradation environnementale. Une solution à ce paradigme semble être la mobilisation mutuelle de toutes parties prenantes via des mécanismes incitatifs de type PES (Payment for Environmental Services). L'idée est de relier politiques agricoles et stratégies individuelles dans une même action répondant aux contraintes physiques, économiques et culturelles des milieux physiques et humains en même temps qu'aux contraintes institutionnelles pour une bonne gouvernance. Un meilleur lien entre terres de pente et plaines devrait garantir un usage durable des terres de pente sans risque pour les plaines.

Mots clés: Vietnam, Montagnes, Système agricole, Actions incitatives, Gestion de Bassin versant, Asie du Sud-est

Abstract :

While the mountainous area few populated provides the water resources to enrich the flat lands, the livelihoods of inhabitants in the mountainous area remain still poor, with weak agricultural productivity and environmental degradation. A solution to this paradigm could be the mutual involvement of each stakeholder by some incentive mechanism based on the sustainable development. The PES (Payment for Environmental Services) could then link agricultural policies with individual strategies to address both to the physical, economic and cultural constraints and to the institutional constraint for a best governance. One can expect by this way a better link between sloping lands and plains to guarantee a sustainable use of the sloping lands without risk for the flat lands.

Key words: Mountain, Farming system, Incentive Mechanisms, Watershed management, Southeast Asia

INTRODUCTION

Sur les deux dernières décades, le Vietnam a connu sur tout son territoire d'énormes changements liés aux réformes agraires et à la croissance économique qui en a découlé (Le Trong Cuc, Rambo 2001 ; Castella J.C., Dang Dinh Quang, 2002 ; Castella et al., 2005 ; Tran Duc Vien, 2003). L'agriculture est passée d'un système agricole collectiviste géré par des coopératives à un système d'exploitations agricoles privées dirigées par des décisions individuelles. Le changement de la répartition des terres qui a suivi cette libéralisation économique s'est accompagné d'une importante augmentation de la productivité agricole et d'une diminution de la pauvreté (Le Trong Cuc, Rambo 2001). Cependant, l'amélioration n'a pas été uniforme (Tran Duc Vien, Rambo, 2001). Le développement économique dans les zones de pente (montagnes et collines) a été plus lent, laissant encore aujourd'hui des régions où la pauvreté est toujours présente, bien que le développement économique des terres de pente ait été souvent placé comme prioritaire dans les programmes de soutien des décideurs, bailleurs et organisations internationales non gouvernementales (ONG).

Or les terres de pente sont nécessaires pour le développement économique harmonieux du pays. En effet, le Vietnam compte aujourd'hui plus de 80 millions d'habitants et ne possède que 11 millions d'hectares de terres agricoles, faisant craindre la perte de capacité du pays à se nourrir, d'autant que le Vietnam est l'un des pays qui pourrait être le plus affecté par le changement climatique (Dasgupta et al., 2007). Les deux deltas (du Mékong et du Fleuve Rouge) qui constituent les zones majeures de production agricole du pays se transforment en zones industrielles et mégapoles. Dans le reste du pays, les plaines, dédiées initialement aux productions agricoles, sont de plus en plus fortement peuplées et industrialisées aux dépens des surfaces agricoles (Dasgupta et al., 2007). Dans le même temps, l'intensification et la densification de l'usage des terres de pentes a conduit à des impasses environnementales, malgré les programmes techniques de soutien aux politiques d'agriculture de conservation. D'une part, ces programmes avaient pour objectif d'améliorer ou de remplacer les systèmes supposés non adaptés des paysanneries traditionnelles. D'autre part, de nombreux programmes ont promu la reforestation pour la protection des sols et la gestion des bassins versants amont. Mais le succès de ces initiatives n'a jamais été celui escompté, aussi bien en ce qui concerne l'amélioration des conditions de vie que les bénéfices environnementaux (Sunderlin et Huynh Thu Ba, 2005 ; World Bank, 2008).

Ainsi tandis que les zones de montagne moins peuplées apportent les ressources en eau qui permettent aux plaines de prospérer, les habitants des zones montagneuses continuent à souffrir de pauvreté, de faibles productivités agricoles accompagnées de dégradation environnementale (Lang, 2001 ; Tran Duc Vien et Rambo, 2001 ; Tran Duc Toan et al., 2003 ; Valentin et al., 2008), qui en retour affecte de plus en plus les usages de l'eau et les populations des zones basses (Lundqvist, 2009). En effet, en dépit des efforts de soutien et des innovations technologiques, l'érosion continue à diminuer la fertilité des sols sur les terres de pente affectant le revenu des agriculteurs (Lestrelin et al., 2005 ; Valentin et al., 2008) et créant un risque écologique et économique pour les communautés d'en-bas du fait d'eaux polluées en nitrates et d'apports en sédiments qui comblent les retenues d'eau destinées à l'irrigation (Grandidier et

Orange, 2008 ; Orange et al., 2008a ; Pham Quang Ha et Orange, 2008). Aussi un des grands défis actuels du Gouvernement Vietnamien est le développement de systèmes agro-écologiques économiquement rentables et durables qui permettront l'utilisation des terres de pentes par les petits agriculteurs (Orange et al., 2008b).

Par ailleurs, même si les technologies nouvelles peuvent être une solution technique efficace, il est reconnu depuis longtemps que les conditions d'adoption par les agriculteurs peuvent être un blocage important (Lestrelin et al., 2005; Noble et al., 2006; Clement et al., 2007 ; Clement et Amezaga, 2009) et nécessité des approches complexes, directes ou indirectes (Aldy et al., 1998 ; Haberl et al., 2004 ; Noble et al., 2006 ; Clement, 2008 ; Clement et Amezaga, 2008 ; Orange et al., 2008c ; Hayashi et al., 2009). En effet, une étude exhaustive de par le monde (de l'Afrique à l'Asie, des Amériques à l'Europe) des projets agricoles à succès a relevé que les facteurs clés de la réussite pouvaient se classer selon quatre catégories majeures : les contraintes individuelles, les contraintes sociales, les contraintes techniques et enfin les contraintes extérieures (Joshi et al., 2005 ; Noble et al., 2006).

Dans cet article, nous proposons une analyse des principaux requis pour promouvoir le développement agricole sur pente dans le Nord Vietnam afin de répondre à la fois aux contraintes de sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté d'une part, et aux contraintes de conservation des ressources en eau et en sol d'autre part. Notre discours est basé sur l'expérience de plusieurs projets de recherche menés au sein du *Soils and Fertilizers Research Institute* (SFRI) avec le programme international de recherche MSEC (*Management of Soil Erosion Consortium*) géré en collaboration entre l'IWMI et l'IRD (Maglinao et al., 2001 ; Valentin et al., 2008), notamment à partir d'un suivi à long terme de l'évolution des pratiques agricoles dans les zones montagneuses du Nord Vietnam basé sur des mesures hydrologiques et de pertes en sol par érosion couplées à des actions agricoles participatives. De ces expériences, il sera introduit la notion d'approches incitatives pour lier politiques agricoles et stratégies individuelles.

AGRICULTURE SUR PENTE : LES CONTRAINTES

Dans le Nord Vietnam, les collines et petites montagnes ont été déforestées dans les années 1970 pour l'usage agricole ; cela a eu pour conséquence un rapide appauvrissement des sols liés surtout aux pertes de nutriments par lessivage et induisant des changements des caractéristiques physiques et biologiques des sols. La situation actuelle des pentes est souvent dramatique, ne permettant plus que la culture de manioc avant d'aboutir à la jachère ou forêt.

Les activités de recherche de MSEC au Vietnam ont notamment concerné le suivi journalier à long terme (de 1999 à nos jours) des exportations de matières par les eaux d'écoulement de surface à l'échelle de petits bassins versants agricoles sur pente (de 1 ha à 50 ha) (Tran Duc Toan et al., 2003a, b ; Phan Ha Hai An et al., 2008 ; Orange et al., 2008b). Dans le bassin d'étude, les terres cultivées ont des pentes de 40% à plus de 100%. Le couvert végétal majeur est passé

progressivement de la culture de manioc sur tous les versants (40% du couvert en 2001 à moins de 0,5% en 2004) à la plantation d'arbres pour pâte à papier (*Acacia mangium*) et de fourrage tropical (*Bracharia ruziziensis*) (Photo 1). Après 5 ans de suivi continu, les taux d'érosion mesurés sur des versants de 5 à 10 ha, ont confirmé que le nettoyage des sols (défrichage, labour, sarclage) générait les plus fortes pertes en terre (pouvant être supérieures à 10 t/ha/an) et que la forêt ou le couvert pluriannuel, tel le fourrage, éliminait toute érosion dès la deuxième année pour après 3-4 ans réduire l'érosion à moins de 0,5 t/ha/an (fig. 1).



Photo 1: Illustration du changement d'usage agricole entre 2001 et 2005 dans la zone d'étude du programme MSEC (basin versant de Dong Cao, province de Hoa Binh, Nord Vietnam).copyright @ : D. Orange

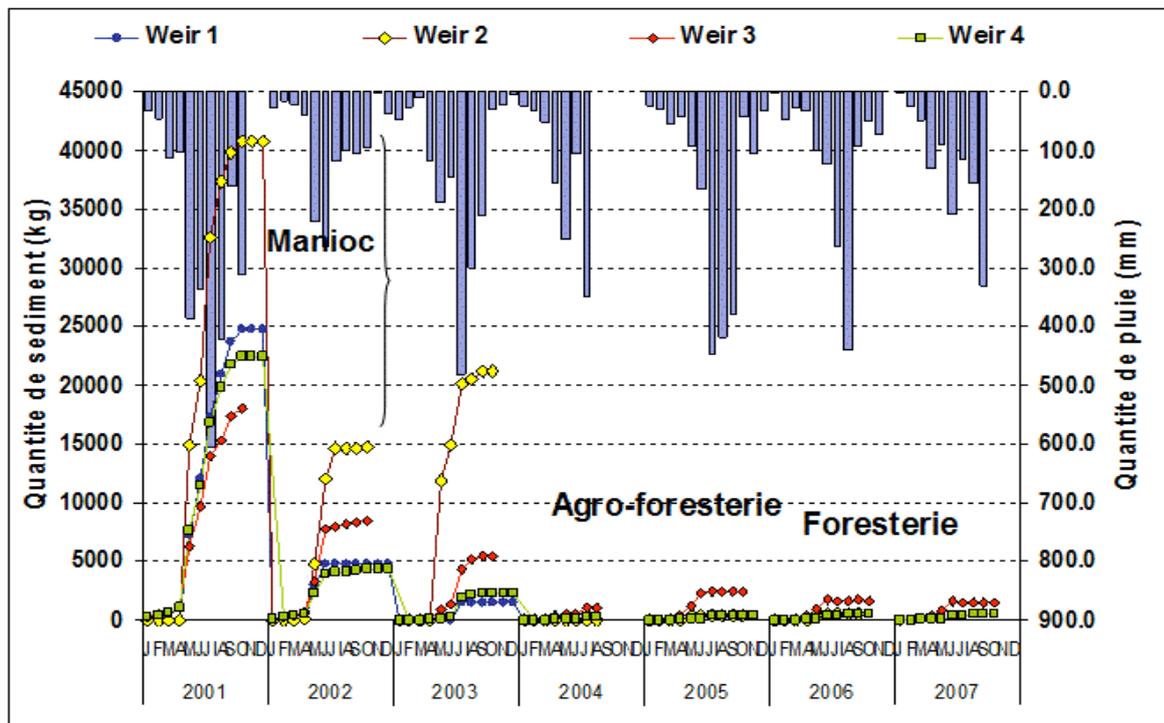


Fig. 1: Influence de l'utilisation des terres sur l'érosion. Evolution de 2001 à 2007 de la pluie mensuelle (en histogramme) et des courbes de cumul mensuel des pertes en terre de fond (bedload) mesurées sur 4 sous-bassins de 5 à 10 ha (Dong Cao Village, Hoa Binh Province, Northern Vietnam). Exutoires: Weir 1 (forêt), Weir 2 (plantation interannuelle, fourrage de *Bracharia* à partir de 2003), Weir 3 (manioc et agroforesterie à partir de 2003), Weir 4 (vieux jachère > 10 ans).

Cependant dans le détail (Podwojewski et al., 2008), nous avons montré que ces valeurs d'érosion étaient directement liées à la capacité d'infiltration due aux modalités d'usage du sol. La comparaison de ces résultats avec les autres bassins versants expérimentaux MSEC (réseau de mesures réparti sur 5 pays d'Asie du Sud-est) confirme que l'érosion est effectivement plus expliquée par l'absence de couvert végétal que par son existence (Valentin et al., 2008). Ainsi, on confirme que la pratique agricole sur pente a une influence directe sur l'exportation de matière à l'exutoire de petits bassins versants agricoles inférieurs à 1 km². Et on démontre que le meilleur indicateur de ces pertes en terre est le pourcentage de culture de maïs surtout, et en général de cultures annuelles, et non le pourcentage de forêt ou encore de couvert végétal.

Le suivi des pratiques culturelles mené auprès des villageois de Dong Cao montre que les stratégies paysannes sont avant tout opportunistes, très liées aux lois du marché. Ainsi on voit depuis 2008 une recrudescence des cultures de maïs du fait de la demande économique tendue par le marché international. Même si l'agriculteur a conscience de la baisse de fertilité des sols de pente après des cycles de cultures annuelles (e.g. les rendements de manioc sont passés de 20 t/ha/an à moins de 10 t/ha/an en moins de 10 ans) et des risques de pertes en terre par érosion, ces deux contraintes n'influencent pas en priorité sa prise de décision (Clément et al., 2007).

EXEMPLE D'IMPACT D'UNE POLITIQUE AGRICOLE : LA REFORESTATION

Dans beaucoup de pays du monde, la réponse politique à une telle situation a été l'aménagement d'une politique volontaire de reforestation dans les zones montagneuses, i.e. le programme 5MHRP au Vietnam (MARD & 5MHRP Partnership Secretariat, 2001). Le projet MSEC s'est intéressé à mesurer l'impact d'une telle politique à l'échelle d'une grande région du Nord Vietnam (i.e. la Province de Hoa Binh) et au niveau individuel (Clément, 2008 ; Clément et al., 2007, 2009). Pour cela, une méthodologie originale d'analyse a été utilisée : *Institutional Analysis and Development* (IAD) largement documentée dans Clément (2008). Cette méthode permet de mettre en relief l'analyse du changement d'usage en prenant en compte à la fois les aspects institutionnels avec une perspective historique et les aspects liés à la perception des acteurs et leur discours concernant la gestion des terres et la forêt (fig. 2).

Les résultats montrent que les politiques nationales ont interféré fortement avec les facteurs locaux, conduisant localement à une compétition complexe entre la prise de décision et l'action (Clément et Amezaga, 2008, 2009). Ainsi la plantation d'arbres n'est pas une réponse des agriculteurs à la politique incitative de reforestation mais plutôt un résultat non attendu d'un dysfonctionnement des institutions locales vis-à-vis de cette politique du fait d'une exagération des croyances et discours non fondés de la part des commanditaires nationaux. Cette déformation de la réalité a engendré un conflit de perception conduisant à des résultats non prévisibles et localement dépendants.

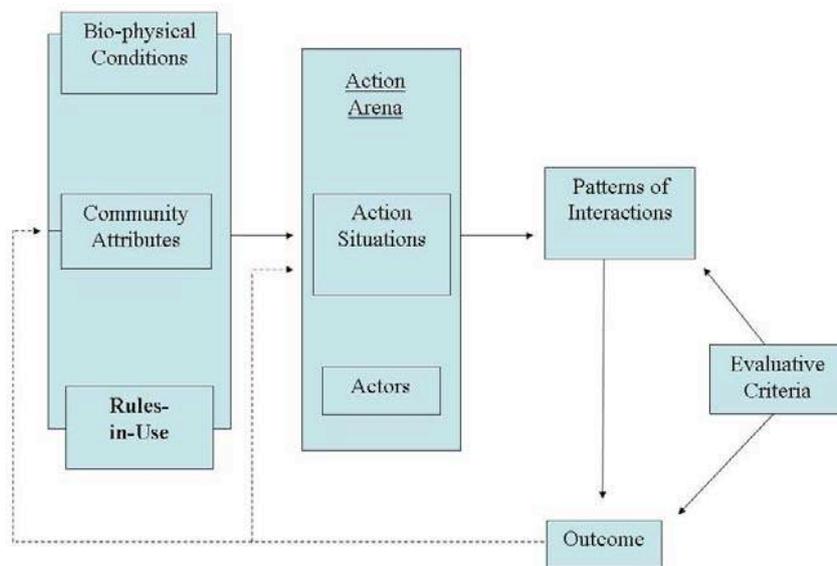


Fig. 2: Schéma d'analyse de la méthode IAD (Institutional Analysis and Development). Source: Kiser and Ostrom, 1982; E. Ostrom *et al.*, 1994

Une étude de la dynamique spatiale de la reforestation dans la Province de Hoa Binh par une méthode statistique spatiale croisée avec une imagerie satellitale confirme cette analyse (Clement *et al.*, 2009). Il apparaît que les facteurs ayant eu le plus d'impact sur la reforestation sont d'abord la proximité d'industries du bois, la distance à la grande route, puis seulement l'allocation des terres aux agriculteurs (Clement *et al.*, 2009). Par ailleurs, la comparaison des valeurs de couvert végétal dans la Province de Hoa Binh entre 1993 et 2000 indiquent qu'on doit être extrêmement prudents quant à l'utilisation de ces données. Sur la base de l'imagerie satellitale, nos estimations sont deux à dix fois moins fortes que les chiffres délivrés par le gouvernement. La question de l'extension de la forêt est donc bien à remettre en cause. Pourquoi une telle déformation ?

Nos résultats tendent à montrer que le programme 5MHRP a été mal adapté aux conditions socio-écologiques du Nord Vietnam, ne permettant pas alors l'implication des agriculteurs locaux dans la dynamique finale du projet qui consistaient à l'obtention d'une allocation à long terme de la terre à la forêt. Les agriculteurs ont effectivement planté la forêt comme une opportunité au remplacement d'une culture annuelle devenue non rentable sur des sols appauvris, mais cette forêt a été coupée après 3 à 6 ans sans continuation obligatoire. Aussi ce décalage entre l'action et la demande nous a conduit aux recommandations suivantes (Clement *et al.*, 2009) : (1) l'augmentation de la responsabilité de l'administration vis-à-vis du gouvernement et des populations ; (2) l'amélioration de la formation des décideurs quant à la diversité et la complexité des conditions socio-écologiques d'un milieu naturel ; et (3) l'adaptation des institutions concernées à cette complexité pour la gestion des terres et de la forêt par l'attribution d'une plus grande responsabilité aux acteurs locaux.

STRATEGIES INDIVIDUELLES : LECONS D'UNE APPROCHE OPPORTUNISTE DANS LE VILLAGE DE DONG CAO

Revenons dans le village expérimental de Dong Cao. En 2001, toutes les pentes étaient cultivées en manioc (photo 1). En 2004-2006, la majorité des pentes de la zone étaient plantées en forêt avec des parties de fourrage. A partir de 2007, les fourrages disparaissent, les forêts sont coupées sans être remplacées, on retrouve le manioc et le maïs qui dominant à nouveau le paysage. Dans les exploitations agricoles, au cours de la même période, l'élevage (surtout porcin, un peu bovin) s'est développé. Le paysage s'est clôturé et les plus riches ont investi dans un bio-digesteur destiné à la production de gaz de cuisine.

En 2003, l'intérêt de la culture du fourrage sur pente comme une bonne alternative aux cultures annuelles (telles que le manioc et le maïs) pour le contrôle de l'érosion sur pente a conduit les chercheurs à promouvoir l'intégration de l'élevage dans les systèmes d'exploitation agricole. Dans le même temps, la réussite économique du développement de la filière porcine dans tout le Vietnam depuis la fin des années 90 a stimulé l'écoute des agriculteurs quant à l'intérêt du fourrage. Ils ont vu là un avantage direct pour un retour sur investissement plus rapide et plus important que la reforestation. Sur cette base, le projet Duras-CropLivestock se développait sous la responsabilité du SFRI pour accompagner la demande des agriculteurs dans le développement de l'intégration de l'élevage et la gestion de la fertilité des sols (Orange et al., 2008c). Le projet MSEC a commencé en 2004 la culture de fourrage d'espèces locales sur pente avec 5 agriculteurs dans un village. En 2006, le projet Duras démarrait en concertation entre la demande scientifique des chercheurs et la demande de développement des agriculteurs assistés par les agents techniques et scientifiques du SFRI (du ministère de l'Agriculture Vietnamien). En 2007, on comptait 300 agriculteurs qui pratiquaient la culture de fourrage répartis sur 7 communes (i.e. plus de 50 villages). Une évaluation vient d'être faite en 2009 (en cours de rédaction), il n'y a pratiquement plus de cultures de fourrage. Cette enquête récente confirme ce que nous écrivions fin 2007 dans les conclusions du projet Duras : *"The impact on the erosion was immediate. Afforestation and the fodder crops stopped soil losses on sloping lands within the studied area. However, a wish to decrease soil erosion was not the driving force that led to the adoption of these more conserving approaches by farmers. Improved incomes associated with forestry and fodder production (i.e. an additional farming element in the form of livestock production) were the main reasons for adoption"*.

L'engagement initial des agriculteurs et des agents vulgarisateurs durant la phase de montage du projet a été un pré-requis important à la diffusion de la technique fourragère via leur implication directe dans l'établissement de champs de démonstration prêtés sur les zones communales des villages. Par ailleurs, la nature des essais (type de techniques culturales, type d'espèces fourragères, calendrier de fertilisation...) était entièrement déterminée à partir de rencontres agriculteurs, décideurs locaux et chercheurs. La principale idée était de laisser libre l'initiative locale. Ainsi l'expérimentation de fourrages tempérés (de type avoine) sur les champs de riz laissés libres l'hiver fut une proposition des

agriculteurs afin de répondre à l'une de leur contrainte majeure qui est de pouvoir nourrir leurs animaux durant l'hiver. En effet, dans le Nord Vietnam l'hiver peut être rude, avec des températures inférieures à 10°C et donc une productivité végétale des espèces tropicales quasi nulle. Après 1 an, 80% des agriculteurs des 3 villages tests cultivaient du fourrage dans leur champ de riz durant l'hiver. C'est aujourd'hui la seule culture de fourrage qui reste encore un peu, la désaffection de cette pratique est liée à la non production des graines d'avoine par les services compétents de l'Etat. Il y a eu donc cette fois un manque d'appropriation du côté des services gouvernementaux.

En effet, si la diversité des institutions impliquées dans ce projet (de la recherche au village en passant par les services agricoles de l'Etat) a assuré de répondre à la diversité des problèmes liés au développement agricole, un autre facteur qui doit aussi être pris en compte, est la durée du projet (ici, deux ans seulement !). Le manque de temps crée non seulement un manque d'occasion de partages mais aussi une fatigue latente de l'agriculteur vis-à-vis du message continu des services agricoles concernant le besoin de développement.

Enfin, il faut également retenir de cette expérience l'opportunité de la part des chercheurs, et non seulement des agriculteurs, pour développer une collaboration (i.e. le projet Duras-CropLivestock) qui a permis le développement de leurs essais agricoles pour l'amélioration de leurs modèles (Jouquet et al., 2007 ; Valentin et al., 2008).

DISCUSSION : MAITRISE TECHNIQUE OU ATTENTE SOCIALE ? APPROCHES INCITATIVES

De tout cela, il faut retenir l'opportunité de situation et le pragmatisme qui peut conduire d'une part à des changements d'usage rapides et spectaculaires de la part des agriculteurs, et d'autre part à des collaborations fructueuses entre agriculteurs et scientifiques, chacun y trouvant ce qu'il recherche. Les changements sont donc possibles, encore faut-il en trouver la voie ?

Cette voie interroge à la fois l'idée du développement durable (chacun ayant sa propre représentation) et les notions d'efficacité et de stratégie fortement liées aux contraintes culturelles qui pèsent sur chaque individu (Jullien, 2005). Ce n'est pas le lieu d'en discuter ici. On retiendra simplement que le déterminisme technologique posé comme d'une part « naturellement bon » et d'autre part capable de créer un « monde meilleur », est passé (Robin J., 1989 ; Roco et Bainbridge, 2002 ; Heisbourg, 2007). Au lieu de se focaliser sur des finalités technologiques, il convient de placer sur un même plan les défis sociaux et écologiques comme moteur de la réflexion et les technologies comme moyen. La méthode IAD évoquée en début de cet article permet justement de considérer la participation sociale pour orienter les priorités techniques. En bref, ce n'est pas la société qui s'adapte aux avancées techniques mais l'inverse. Sur ce sujet, il est remarquable de constater que l'analyse statistique croisée des résultats du programme MSEC sur 27 bassins versants expérimentaux répartis entre l'Indonésie, la Laos, les Philippines, le Laos et le Vietnam montre que l'adoption

des technologies de gestion des sols de pente n'est pas fonction du degré d'intensification des systèmes d'exploitation ni du niveau des revenus (Valentin et al., 2008).

Le maître mot est donc bien l'attente sociale et non la maîtrise technique (Jasanoff, 2007 ; Clement et al., 2009). Cependant, il reste à trouver la bonne « formulation » pour motiver les différents dépositaires.

Aussi au lieu de construire l'intervention du projet de développement sur une distinction entre connaissances locales et connaissances scientifiques, qui est en fait une construction abstraite souvent diffusée par la communauté scientifique (Forsyth, 1996), notre hypothèse de travail fut que les différents intervenants (de l'amont et de l'aval, et les décideurs) promeuvent -- aient pour volonté -- la durabilité des fonctions écosystémiques de leur région, se traduisant concrètement en terme de rentabilité des terres et des eaux (« gagner plus ? »), d'accès à la modernité (électricité, chauffage,...) et à la santé (« vivre mieux »). C'est dans cette optique que chercheurs, décideurs et agriculteurs se sont retrouvés à promouvoir ensemble, chacun dans sa sphère de compétence et d'intérêt, un même moyen technologique que représente le bio-digesteur (Orange et al., 2008c ; projet AFD Biogas&PES, Hanio, Vietnam).

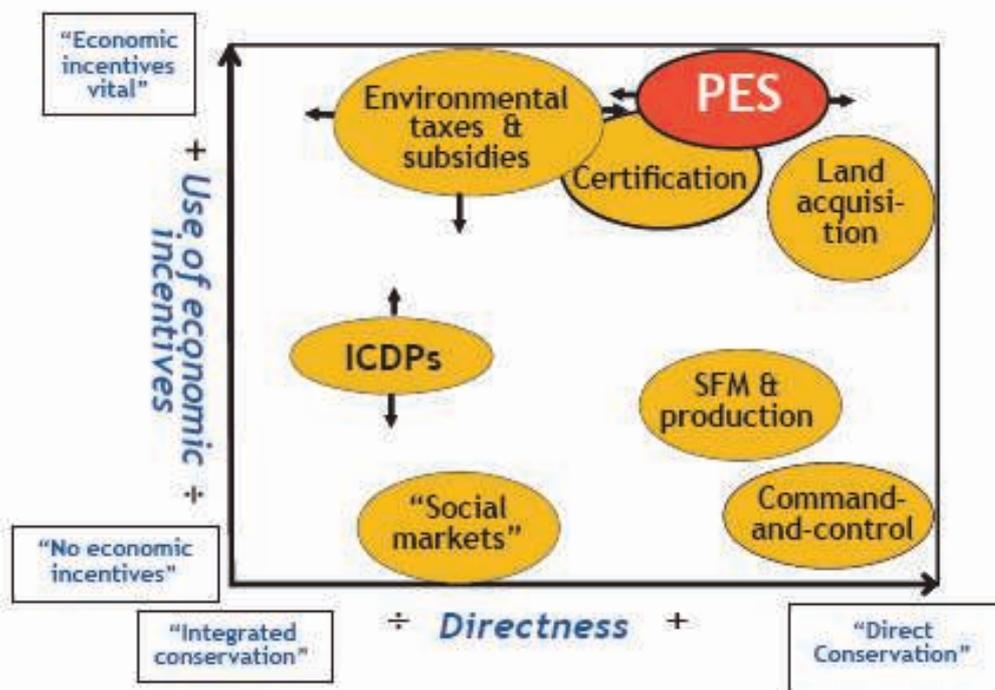


Fig. 3 : Comparaison des systèmes PES (Payment for Environmental Services) avec les autres approches de conservation. Cette figure range les approches de conservation selon deux critères : (1) le degré du lien avec une incitation économique, (2) le degré d'importance apporté à la notion de conservation (ICDP : *Integrated conservation and development projects* ; SFM : *Sustainable Forest management*).

Source: Wunder, 2005

L'idée a été de promouvoir la technologie du biodigester via le concept de PES. A la suite du rapport Bruntland (1987) et de la Conférence de Rio (1992), les

programmes de conservation des sols et des eaux en monde tropical sont de plus en plus orientés vers la prise en considération des personnes, considérant que l'éradication de la pauvreté était l'unique voie pour conserver et protéger l'environnement. Les incitations économiques, comme moyen à la fois de conservation de l'environnement et d'apport de revenus additionnels aux pauvres, sont au cœur de cette nouvelle approche pour le développement. Dans ce cadre, le concept de PES, *Payment for Environmental Services*, a été défini par Wunder (2005) selon les 5 critères suivants : (1) une transaction volontaire où (2) un service environnemental bien défini est (3) acheté par un acheteur (4) fourni par un fournisseur (5) si et seulement si le fournisseur du service environnemental garantit la durabilité de ce service. Le concept de PES cumule donc à la fois la notion d'incitation économique et la notion de volontariat partagé entre deux parties prenantes. Il se situe entre un système directif d'attribution des terres ayant pour but d'éliminer les usages problématiques, i.e. les politiques dirigistes de reforestation par expropriation, et les systèmes à taxes et subventions sur base environnementale (fig. 3). La différence est que le PES essaye de mobiliser les acteurs plus sur la notion de conservation que sur celle de production économique à partir de l'usage d'une ressource.

Le montage imaginé et actuellement en préparation est représenté en figure 4. On voit que la structure permet de faire un lien entre des décideurs de même niveau (agriculteurs et décideurs ont égale importance), la structure étant renseignée par un « mécanisme de supervision » qui produit de l'information aussi bien technique que sociale et économique (i.e. gouvernance). Cela rappelle les systèmes mis en place pour les activités de micro-crédits (Yunus, 1997).

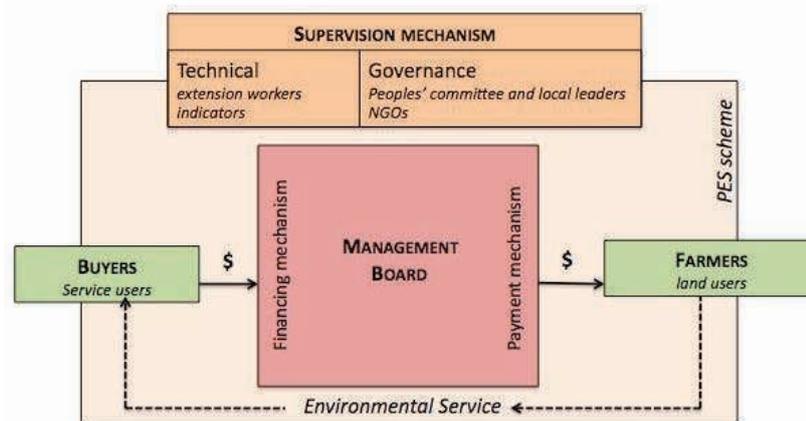


Fig. 4: Proposition d'un schéma d'un système de politique agricole basé sur un système PES.

CONCLUSION

Les exemples discutés dans ce papier ont souligné que l'impact des politiques agricoles dépendait non seulement de la politique elle-même et des facteurs macro et/ou méso économiques mais aussi des conditions locales sociales et biophysiques. Bien sûr, d'autres auteurs ont déjà mentionné ce problème, dans des cas aussi spécifiques que l'étude de l'érosion (e.g. Lal, 1983 ;

Valentin et al., 2008), ou encore que l'étude de la fertilité des sols et de la gestion des fertilisants (e.g. Pierce and Larson, 1993 ; Doran, 2002 ; Van Keulen, 1995). Mais ce papier a aussi souligné que l'opportunisme d'action n'était pas seulement du fait de l'agriculteur mais aussi du chercheur et du décideur. Il y a bien partage complet des responsabilités (Yunus, 1997 ; Sanders et al., 1999 ; Orange et al., 2002 ; Clement et al., 2009).

On a vu que les raisons qui font que les agriculteurs s'investissent sont liées à la faculté d'appropriation et de partage de l'information entre toutes les sphères de partenariat. En effet, chacun doit répondre à son propre intérêt : une valorisation économique et un libre choix pour l'agriculteur, une meilleure compréhension et diffusion des technologies agricoles sur le terrain pour le technicien agricole et le décideur, des résultats scientifiques probant en terme de gestion de la ressource pour le chercheur.

Finalement, la notion de durabilité environnementale est peut-être la seule notion qui puisse réunir un intérêt mutuel commun. Le nouveau concept de PES (*Payment for Environmental Services*) a été construit sur cette base (Pagiola et Platais, 2004 ; Tomich et al., 2004). Le challenge de cette approche est alors de mixer intérêt économique et engagement mutuel (George et al., 2009). Par ce biais, le concept permet d'assurer l'adaptation des politiques agricoles aux contraintes et surtout aux demandes locales. L'idée est de relier politiques agricoles et stratégies individuelles dans une même action répondant à la fois aux contraintes physiques, économiques et culturelles des milieux physiques et humains en même temps qu'aux contraintes institutionnelles et de gouvernance. Mais au-delà de la notion abstraite de développement durable (George et al., 2009), il semble nécessaire de pouvoir renseigner l'attente sociale via un objet technologique. Dans le cas du Nord Vietnam où les conditions de développement exigent une mise en agriculture des terres sur les pentes, le bio-digesteur comme objet d'intérêt mutuel entre agriculteurs et décideurs pourrait être une des solutions pour garantir une agriculture durable sur les terres de pente sans risque pour les terres de plaine.

Remerciements

Cette action de recherche est réalisée dans le cadre du programme MSEC de l'IWMI coordonnée par l'unité de recherche IRD-UMR211 (BIOEMCO) de Christian Valentin. Nous devons remercier les nombreux bailleurs qui ont permis le développement de ce programme pluridisciplinaire. On citera dans l'ordre chronologique le projet Duras-Croplivestock du MAE-GFAR, le projet PES du Challenge Program for Water and Food (contrat C-056-07), le projet Biogas&PES de l'Agence locale AFD de Hanoi.

BIBLIOGRAPHIE

Aldy J.E., Hrubovcak J., Vasavada U., 1998. The role of technology in sustaining agriculture and the environment. *Ecological Economics*, Elsevier, 26 : 81–96.

Castella J.C., Boissau S., Trung T.N., Quang D.D., 2005. Agrarian transition and lowland-upland interactions in mountain areas in northern Vietnam: application of a multi-agent simulation model. *Agricultural Systems*, 86 (3): 312-332.

Castella J.C., Dang Dinh Quang (Eds.), 2002. Doi Moi in the Mountains. Land Use Changes and Farmers' Livelihood Strategies in Bac Kan Province, Viet Nam. The Agricultural Publishing House, Hanoi: 480 p.

Clément F., 2008. *A multi-level analysis of forest policies in Northern Vietnam: Uplands, people, institutions and discourses*. MSEC programme, IWMI-IRD-SFRI consortium, Hanoi, Vietnam; PhD, Faculty of Science, Agriculture and Engineering, Newcastle University, July 2008: 263 p.

Clément F., Amezaga J.M., 2008. Linking reforestation policies with land use change in Northern Vietnam: Why local factors matter. *Geoforum*, Elsevier, 39(1): 265-277.

Clement F., Amezaga J.M.. 2009. Afforestation and Forestry Land Allocation in Northern Vietnam: Analysing the gap between policy intentions and outcomes. *Land Use Policy*, 26 (2):458-470.

Clement F., Amezaga J.M., Orange D., Tran Duc Toan, 2007. The Impact of Government Policies on Land Use in Northern Vietnam: An institutional approach for understanding farmer decisions. *IWMI Research Report 112*. Colombo, Sri Lanka: [online] URL: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB112/RR112.pdf.

Clement, F., Orange D., Williams M., Mulley C., Epprecht M., 2009. Drivers of Afforestation in Northern Vietnam: Assessing local variations using geographically weighted regression. *Applied Geography*, doi:10.1016/j.apgeog.2009.01.003.

Dasgupta S., Laplante B., Meisner C., Wheeler D., Jianping Yan, 2007. The Impact of Sea Level Rise on Developing Countries: A Comparative Analysis. *World Bank Policy Research Working Paper*, 4136, February 2007, 51 p.

Doran, J.W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88, 119–127.

Haberl H., Wackernagel M., Wrbka T., 2004. Land use and sustainability indicators. An introduction. *Land Use Policy*, Elsevier, 21: 193 – 198.

Forsyth, T., 1996. Science, Myth and Knowledge: Testing Himalayan environmental degradation in Thailand. *Geoforum* 27, 375-392.

Hayashi K., Abdoulaye T., Matsunaga R., Tobita S., 2009. Appraisal of Local Farmers' Practices on Land Management for a Guideline of Agricultural Development in the Sahel Zone of Niger, West Africa. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 43(1): 63-69.

Heisbourg F., 2007. *L'épaisseur du Monde*. Ed. Stock, Paris, 227 p.

Grandidier E., Orange D., 2008. Socio-economic and environmental assessments for PES implementation in a watershed in Northern Vietnam. Non published report, CPWF-PES-Vietnam project, MSEC-Vietnam project, SFRI-IWMI-IRD, Hanoi : 128 p.

George A., Pierret A., Boonsaner A., Valentin C., Orange D., Planchon O., 2009. Potential and limitations of Payments for Environmental Services (PES) as a means to manage watershed services in mainland Southeast Asia. *Int. Journal of Commons*, 3(1) : 16-40.

Jasanoff S., 2007. Science and politics technologies of humility. *Nature*: 450.

Joshi P.K., Jha A.K., Wani S.P., Joshi L., Shiyani R.L., 2005. Meta-analysis to assess impact of watershed program and people's participation. Comprehensive Assessment Research, report 8, Colombo, Sri Lanka, IWMI.

Jouquet P., Bernard-Reversat F., Bottinelli, N., Orange, D., Rouland-Lefèvre C., Tran Duc Toan, Podwojewski P., 2007. Influence of change in land use and earthworm activities on carbon and nitrogen dynamics in a steepland ecosystem in Northern Vietnam. *Biology and Fertility of Soils*, 44(1): 69-77

Jullien F., 2005. *Traité de l'efficacité*. Ed. Grasset, Paris, 234 p.

Kiser L., Ostrom E., 1982. The Three Worlds of Action: A metatheoretical synthesis of institutional approaches. In: Ostrom, E. (Ed.), *Strategies of Political Inquiry*. Sage, Beverly Hills (CA), pp. 179-222.

Lal R., 1983. Soil erosion in the humid tropics with particular reference to agricultural land development and soil management. In: *Hydrology of humid tropical regions with particular reference to the hydrological effects of agricultura and forestry practice*, Proc. Hamburg symposium, IAHS Publ. 140 : 221-239;

Lang C., 2001. Deforestation in Vietnam, Laos, and Cambodia. In: Vajpeyi, D.K. (Ed.), *Deforestation, Environment, and Sustainable Development: A Comparative Analysis*, Praeger, London: 111–137.

Le Trong Cuc, Rambo A.T. (Eds.), 2001. *Bright Peaks, Dark Valleys. A Comparative Analysis of Environmental and Social Conditions and Development Trends in Five Communities in Northern Vietnam's Northern Mountain Region*. The National Political Publishing House, Hanoi : 350 p.

Lestrelin G., Giordano M., Keohavong B., 2005. When “conservation” leads to land degradation: Lessons from ban Lak Sip, Laos. *Research Report, 91*, Colombo, Sri Lanka, IWMI, 25 p.

Lundqvist J., 2009. Water as a Human Resource. *Encyclopedia of Inland Waters*: 31-42.

Maglinao A.R., Penning de Vries, F., Bricquet J.-P., 2001. Consortium Approach to Soil Erosion Management: A potential key in sustaining upland development in Asia. *International Conference on Sustaining Upland Development in Southeast Asia*, Makati City, Philippines.

Noble A.D., Bossio D.A., Penning de Vries F.W.T., Pretty J., Thiyagarajan T.M., 2006. Intensifying agricultural sustainability: An analysis of impacts and drivers in the development of “Bright spots”. *Comprehensive Assessment Research Report, 13*, IWMI, Colombo, Sri Lanka: 32 p.

Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.), 2002. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. Actes du colloque Girnzit, Bamako, 20-23 juin 2000. Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 1000 p.

Orange D., Jouquet P., Tran Duc Toan, Montresor A., 2008a. Enhancing the health and incomes of communities in Northern Vietnam through improving household animal production and waste management for a sustainable environment. *Final Report, Total collaborative project*, MSEC team, IRD-IWMI, SFRI, Hanoi, Vietnam, 28 p.

Orange D., Lequeux B., Henry des Tureaux T., Pham Van Rinh, Tran Duc Toan, 2008b. Charges de fond et suspensions transportées par les eaux d'écoulement dans un petit bassin versant agricole sur pentes dans le Nord Vietnam. In : Orange D., Roose E., Vermande P., Gastellu J.-P., Pham Quang Ha (Eds) : *Gestion intégrée des eaux et des sols : ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains*, Editions AUF et IRD, Hanoi, Actes des Premières Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007, cd-rom : 6p. (Communication orale).

Orange D., Tran Duc Toan, Nguyen Duy Phuong, Nguyen Van Thiet, Salgado P., Clement F., Le Hoa Binh, 2008c. Different interests, common concerns and shared benefits. *LEISA Magazine*, 24(2): 12-13. + Chinese version.

Ostrom E., Gardner R., Walker J., 1994. *Rules, Games & Common-Pool Resources*. The University of Michigan Press, Ann Arbor.

Pagiola S., Platais G., 2004. *Payments for environmental services: From theory to practice*. Washington DC: World Bank.

Pham Quang Ha, Orange D., 2008. Réseau E-GCES-Vietnam : Erosion et Gestion conservatoire des eaux et des sols. Bilan d'activités 2008, *projet AUF-ISTEM*, SFRI, Hanoi, Vietnam, 2 p.

Phan Ha Hai An, Orange D., Huon S., Henry des Tureaux T., Pham Van Rinh, Tran Thi My Linh, Podwojewski P., 2008. Evolution des teneurs en carbone organique et azote dans les matières en suspension des eaux de surface d'un petit bassin versant agricole sur pente dans le Nord Vietnam. In Orange D., Roose E., Vermande P., Gastellu J.-P., Pham Quang Ha (Eds) : Gestion intégrée des eaux et des sols : ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains, Editions AUF et IRD, Hanoi, *Actes des Premières Journées Scientifiques Inter-Réseaux de l'AUF*, Hanoi, 6-9 novembre 2007, cd-rom : 6p. (Communication orale).

Pierce F.J., Larson W.E., 1993. Developing criteria to evaluate sustainable land management. In: Kimble, J.M. (Ed.), *Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of Soil Survey Information for Sustainable Land Use*. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, USA : 7–14.

Podwojewski P., Orange D., Jouquet P., Valentin C., Nguyen Van T., Janeau J.L., Tran Duc T., 2008. Land-use impacts on surface runoff and soil detachment within agricultural sloping lands in Northern Vietnam. *Catena*, 74 : 109-118

Robin J., 1989. *Changer d'ère*. Ed. Seuil, Paris, 235 p.

Roco M.C., Bainbridge W.S., eds, 2002. *Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. Arlington (Virginie), National Science Foundation, (<http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/nsfnireports.jsp>).

Sanders D., Huszars P., Sombatpanit S., Enters, T. (eds.), 1999. *Incentives for soil conservation - from theory to practice*. World Association of Soil and Water Conservation/Oxford and IBH Publishing, New Delhi.

Sunderlin W.D., Huynh Thu Ba, 2005. *Poverty Alleviation and Forests in Vietnam*. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Jakarta, Indonesia.

Tomich T.P., Thomas D.E., van Noordwijk M., 2004. Environmental services and land use change in Southeast Asia: from recognition to regulation or reward. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104(1) : 229–244.

Tran Duc Toan, Orange D., Podwojewski P., Do Dui Phai, Thai Phien, Maugin J., Pham Van Rinh, 2003. Soil erosion and land use in the Dong Cao Catchment in Northern Vietnam. In: Magliano A.R., Valentin C., Penning de Vries F. (Eds.), *From soil research to land and water management: harmonizing people and nature*. Proceedings of IWMI-ADB Project Annual Meeting and 7th MSEC Assembly. IWMI. Southeast Asian Regional Office, Vientiane, Laos.

Tran Duc Toan, Orange D., Podwojewski P., Do Duy Phai, Thai Phien, 2003. Erosion control within a cultivated sloping land in North Vietnam. *China Symposium 2 / Soil quality and evolution mechanism and sustainable use of soil resources, ISSAS / Yingtan, Jiangxi Province, China, September 23-28 2003*.

Tran Duc Vien, 2003. Culture, Environment, and Farming Systems in Vietnam's Northern Mountain Region. *Southeast Asian Studies* 41: 180-205.

Tran Duc Vien, Rambo A.T., 2001. Social Organization. In: Le Trong Cuc, Rambo A.T. (Eds.), *Bright Peaks, Dark Valleys. A Comparative Analysis of Environmental and Social Conditions and Development Trends in Five Communities in Northern Vietnam's Northern Mountain Region*, The National Political Publishing House, Hanoi : 177–208.

Valentin C., Agus F., Alamban R., Boosaner A., Bricquet J.P., Chaplot V., de Guzman T., de Rouw A., Janeau J.L., Orange D., Phai Do Duy, Podwojewski P., Ribolzi O., Silvera N., Subagyono K., Thiébaux J.P., Toan Tran Duc, 2008. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in

Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238.

Van Keulen H., 1995. Sustainability and long-term dynamics of soil organic matter and nutrients under alternative management strategies. In: Bouma, J., Kuyvenhoven, A., Bouman, B.A.M., Luyten, J.C., Zandstra, H.G. (Eds.), *Eco-Regional Approaches for Sustainable Land Use and Food Production*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands: 353–375.

Wiesner J.B., York H.F., 1964. *Scientific American*, 211(4): 27.

Wunder S. (2005). Payments for environmental services: Some nuts and bolts. *CIFOR Occasional Paper*, 42, Jakarta, Indonesia, 31 p.

Yunus M., 1997. *Vers un monde sans pauvreté*. Ed. Livre de Poche, Paris, 411 p.

History and economics of soil and water conservation in Jamaica (1960-2000).

Joseph Lindsay¹, Marcia Walker² and Jan de Graaff³

1)jlindsay05@gmail.com, univ.of the WestIndies, Mona, Jamaica

2) marciewalks@gmail.com ; Jamaica

3) jan.degraaff@wur.nl ; Wageningen University, the Netherlands

Résumé

Le gouvernement de Jamaïque a acquis une grande expérience en conservation des sols ces dernières décennies. L'approche développée par la Land Authority a été recommandée en 1945 pour réhabiliter des bassins versants (projet pilote de la Yallahs Valley). Les techniques les plus simples furent recommandées mais elles disparurent graduellement. En 1967, le Gouvernement a lancé le projet d'aménagement de bassin défini par les forestiers FAO : Ils ont préparé un programme national de conservation des sols et un centre de démonstration et d'entraînement (Smithfield). Leurs recommandations aboutirent à deux grands projets de développement rural intégré dans la zone ouest et centrale de l'île en 1970 et 1980. Le premier s'est consacré à la polyculture sur terrasses en gradins. Le second projet a renforcé les institutions de planning de développement des bassins versant en 1980-82. Ce projet a fourni des formations pour les gens du service et a dressé les plans pour six bassins majeurs et leur suivi (IFAD Hillside Farmers Support Project (1988-94). D'autres projets ont été développés après les dégats causés par les cyclones (ex: Hope River Project 1988-91).

La plupart des projets avant 1987 étaient orientés vers des techniques physiques basées sur des critères de land capability : pour lutter contre l'érosion sur les pentes fortes des collines, on a développé des terrasses et la reforestation. Cependant, à cause de l'absentéisme des propriétaires, les terrasses n'ont pu couvrir tout les bassins et ont été insuffisamment entretenues. Les généreux subsides de l'Etat (75% des frais de terrassement) ont permis à certains fermiers de s'enrichir. Une analyse cout-bénéfices a montré que les terrasses en gradins n'étaient pas rentables financièrement ni économiquement (de Graaff, 1996). Le projet IFAD s'est alors orienté sur la culture du cacao dans les plaines et du café en altitude. Le MYADP project a aussi tenté d'intégrer les pratiques de GCES dans les systèmes de production existants. Entretemps, les fermiers impliqués dans la CES ont développé des techniques traditionnelles simples comme les barrières végétales et les haies vives qui s'adaptent mieux aux systèmes de culture. Cette communication donne un aperçu historique des projets de conservation des sols durant les dernières décennies en Jamaïque et discute des retombées économiques des mesures de CES impliquant les effets de l'érosion au champs et en aval.

Mots clés : Jamaïque, projets de CES, historique, aspects économiques.

Abstract

The Government of Jamaica has gained considerable experience with soil conservation activities over the last decades (Edwards, 1995; Kent, 2002). In 1945 the Land Authority approach was recommended for rehabilitating watershed areas with the Yallahs Valley as pilot project. The simpler soil conservation measures were favoured, but most of them gradually disappeared. In 1967 the Government initiated a FAO Forestry and watershed management project, which prepared a national soil conservation programme and established the Smithfield training and demonstration centre. Its recommendations were followed up by two large integrated rural

development projects in the western and central parts of the island in the 1970s and early 1980s. The project in the central region focused on **multiple cropping systems on terraced land**. Attention to the eastern part of the island was given by a second FAO Project, that was involved in institutional strengthening and watershed planning from 1980-1982. This project provided in-service training courses, made plans for six major watersheds and prepared a follow-up project, which in adapted form was implemented as the IFAD-Hillside Farmers Support Project (1988-1994). Meanwhile some other soil conservation projects and activities were implemented, in some cases following the damage caused by hurricanes (e.g. Hope River Project, from 1988-1991).

Most of the projects implemented before 1987 focused in their approach on physical land capability criteria, and because of the steep terrain the emphasis was on terracing and on reforestation. However, because of absentee land owners and disinterest, the terraces could not be executed on a micro-watershed basis and were often insufficiently maintained. And the generous subsidies (up to 75% of all terracing costs) allowed farmers to make profits by hiring local labourers (Blustain, 1982). A cost-benefit analysis showed that **bench terracing was not financially nor economically viable for the great majority of farmers** with their traditional and intermediate level of management (de Graaff, 1996). The IFAD project therefore decided to focus on the tree crops cocoa (at lower altitude) and coffee (at higher altitude). And farmers involved in annual cropping have gradually improved simple conservation measures, such as trash barriers, which fit better in the farming systems. This paper provides an historical overview of soil and water conservation projects and activities in the past decades in Jamaica and it discusses some financial and economic analyses of several SWC measures with their on-site and off-site effects.

Key words: Jamaica, history, economics, SWC

1. Background

Jamaica, land of wood and water

Jamaica was called 'Land of Wood and Water' by its early Arawak inhabitants. One wonders whether the island still merits this title. Most of the watershed areas remained in fact under natural forest until after the British occupation of the island, in 1655. The **introduction of coffee** after 1717, applying fire clearance and clean weeding, caused much man-made erosion and this was aggravated when ex-slaves acquired small plots of land after 1838, and population pressure increased (McGregor and Barker, 1991).

With its 11,425 square kilometres Jamaica probably contains a greater variety of landscapes than any other island or country of comparable size. The terrain varies from towering mountains to coastal plains. Some 65% of the land is composed of hilly limestone areas used for bauxite mining and extensive cattle raising. Another 15% comprises alluvial plains, traditionally devoted to **sugar and banana plantations for export**. The final 20% comprises three areas, developed on cretaceous deposits, which have been used for intensive, small-scale hillside farming and have produced food crops for local consumption and some tree crops (Ramsay et al., 1982). These three areas are located in the Western region (south of Montego Bay), in the central part of the island (around Mandeville) and around the Blue Mountains in the eastern part of the island. Much of these lands are either too steep or have soil too thin to support intensive agriculture. The predominant soil types in these steep hillsides are derived from granite porphyry, from conglomerates and shales and in the lower parts from limestone. All of these soils are shallow, with rapid internal drainage, rapid runoff and high erodibility. Most have **a low fertility** (Vernon and Jones, 1959). Jamaica has a tropical climate,

influenced by the sea-wind. Annual rainfall varies, and is highest on the northern side of Blue Mountains in Portland parish (Table 1). The capital Kingston and the watersheds around it are situated on the leeward side of the Blue Mountains and have an average annual, bimodal, rainfall of less than 2,000 mm. **The island is regularly ravaged by hurricanes.** The hurricanes Charlie (1951), Flora (1963), Allen (1980), Gilbert (1988), Ivan (2004), Dean (2007) and Gustav (2008), were accompanied by **severe flooding** and caused considerable damage in both rural and urban areas.

Table 1. Mean monthly rainfall (1931-1980)

Town/Parish	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	Tot
Kingston/St-Andrew	53	49	56	103	180	123	50	168	215	287	187	112	1583
Port Antonio/Portland	321	236	185	273	321	278	231	245	273	373	477	457	3670
Montego Bay/St-James	91	77	62	111	223	203	145	182	202	253	138	104	1791
Mandeville/Manchester	60	52	85	134	237	175	102	169	213	291	118	70	1706

Source: Metservice, Jamaica.

Socio-economic situation

More than one third of Jamaica's relatively large population of 2.8 million lives in and around the capital Kingston. The town has attracted many people from the rural areas seeking work. The agrarian structure is highly uneven: 80% of all farms have less than 2 ha and control only 16% of the land, while the very large farms constitute less than 1% of the total and control 57% of the land (Rao, 1990). The former, called mini-farmers by Wright (1979), are the main suppliers of staple food and vegetables in the country, but because of the steep terrain the production is not sufficient to meet the needs of the people. Soil erosion will also eventually destroy the basis of this important form of agriculture and livelihood system.

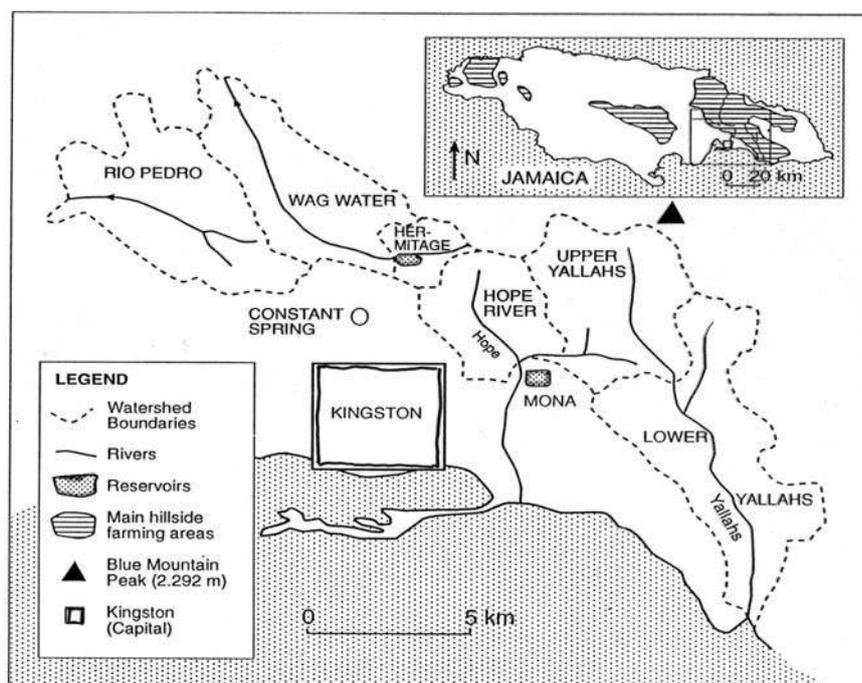


Figure 1. Map of Kingston watersheds (southern part of Blue Mountains)

In a household survey, carried out in the watersheds around Kingston (Figure 1), only about a quarter of the small and medium farm households were considered to be full-time farmers with an "advanced" level of management, keen on further developing their

farm. Most other farmers, classified as having a traditional or intermediary level of management, were either much involved in off-farm activities or too old or not much interested in farm development. Some of these latter farmers keep part of their land uncultivated or under 'food forest', a multi-storey mixture of trees and crops, which provides good protection against erosion and requires relatively little labour input.

Jamaican economy and the agriculture sector

The Jamaican economy's performance since 1975 has been adversely affected by a series of external shocks. Oil prices increased, while the prices of bauxite, alumina and agricultural export commodities declined. Agriculture now contributes only 5 % of GDP against not less than 60 % for the services sector. Half of the original population of Jamaica does live abroad and remittances account for nearly 20% of GDP and are equivalent to tourism revenues. The economy faces serious long-term problems: high but declining interest rates, increased foreign competition, exchange rate instability, a sizable trade deficit, large-scale unemployment and underemployment, and a debt-to-GDP ratio of 135%. And almost 15% of the population has an income below the poverty line. Jamaica's economy also frequently suffers economic setbacks from damages caused by hurricanes, as mentioned above (CIA World fact book, 2008).

Other obstacles faced by the Jamaican agricultural sector over past decades include: - Highly skewed land ownership, with the small farms concentrated on steep land; - **Insufficient land tenure security** of in hillside areas; - Despite unemployment, a continued disenchantment with agricultural work, and consequently a chronic shortage of agricultural labour; -A lack of agricultural support services to farmers (e.g. extension, credit); - Inadequate measures and organisation to conserve the limited soil resources.

2. Soil and water conservation programmes and natural resource management

The Government of Jamaica has gained considerable experience with rural development, soil conservation and afforestation activities over the last decades (Edwards, 1995). In 1945 the Land Authority approach was recommended for rehabilitating watershed areas, with the Yallahs Valley as pilot project. The simpler soil conservation measures were favoured, but most of them gradually disappeared, although some farmers continue to use such traditional practices. An example are the **annually renewed trashbarriers on vegetable fields**, shown in Figure 2 and described by Kent (2002).

The Government initiated in 1967 a first FAO forestry and watershed management project, which prepared a national soil conservation programme and established the *Smithfield training and demonstration centre* in the western part of the island (Figure 3).

Because of the very steep terrain, the national soil conservation plan gave much emphasis to land capability in the planning and implementation of watershed development activities (Sheng, 1972). The recommendations based on the demonstrations were followed up in the 1970s by two large integrated rural development projects in the western and central parts of the island. Initially these projects focussed much on terracing activities. However, because of absentee land owners and disinterest, these terraces could not be executed on a micro-watershed basis and were often insufficiently maintained (Blustain, 1982). Besides, the generous **subsidies (up to 75% of all terracing costs)** allowed farmers to make profits by hiring local labourers. The project in the central region focused **on multiple cropping systems on the terraced land**. A similar approach was followed by other soil

conservation projects in that part of the island, e.g. the IICA project with its Allsides pilot implementation area (Johnson, 1984).

Attention to the (south-)eastern part of the island was given by a second FAO Project (JAM 78/006), that was involved *in institutional strengthening and watershed planning from 1980-1982*. The project provided in-service training courses to 20 counterparts, made detailed plans for six major watersheds (Figure 1) and prepared a follow-up watershed development project, which was for financing taken up by IFAD. This implementation project eventually started in 1988 as the IFAD-Hillside Farmers Support Project, and focussed largely on the tree crops cocoa and coffee. There was also the Hillside Agriculture Project (HAP), financed by USAID, focusing on *agronomic measures*. A separate soil conservation project was established in Hope River watershed, where much damage was done by hurricane Gilbert in 1988. In the Blue Mountain areas, Japanese financed projects were engaged in large scale coffee plantations, and the CIDA Trees for Tomorrow project was involved in reforestation (World Bank, 1993).

Human influence on ecological systems

As a result of the high rainfall intensities, steep slopes and erodible soils, natural rates of soil erosion are quite high in Jamaican watershed areas (Barker and McGregor, 1988). But human-induced soil erosion is more important, since hillside farmers are mostly involved in small scale cultivation of erodible staple crops, as yam and other root crops, and vegetables (e.g. shallots, cabbage, carrots). Of the 33 watersheds, 19 are badly eroded (World Bank, 1993). On the basis of land use mapping and the USLE formula, the second FAO project estimated the overall *soil erosion rate for the Kingston watershed areas at about 100 t/ha/year* (FAO, 1982). More than half of this erosion was assumed to be derived from the 10% of the area under annual crops, part of which was rented land. Other land use consisted of perennial crops, 'food forest', mixed plantings, grassland, fallow or 'ruinate' and governmental forest land. More recent small scale erosion research in the upper watershed areas suggested that the erosion rates were over-estimated. This research found (sheet) erosion rates for farm land and natural forest of 16 and 1 t/ha/yr respectively (McDonald et al., 1993). And on the basis of suspended sediment data in the Hope River over 1988-1990 a mean annual sediment yield of 13.7 t/ha was calculated. *A sediment delivery ratio of 0.5* would then give an erosion rate of about 30 t/ha in this small and steep watershed. However, since soils are derived *from shales and* other materials with high soil formation rates, farmers do not mind much about erosion (Lindsay and Douglas, 1993). However, soil conservation is also needed for down-stream interests, in particular in the areas upstream the water supply reservoirs.

The water supply situation

Since 1930 the Jamaican Government has had difficulties coping with the water demand of Kingston, in particular after years of severe droughts. Soil erosion has led to sedimentation in the Hermitage reservoir, and surface and ground water contamination have reduced water supplies over the years. In 1980 domestic water for Kingston was supplied by surface water and by 18 deep wells, supplying 104,000 and 68,000 m³ per day respectively. Surface water was obtained from the Hermitage- and Mona-reservoirs (with storage capacities of 1.8 and 2.7 million m³) and from three rivers outside the area. Watershed management is needed to induce a more continuous flow of surface water, without reducing the supply to the wells.

Some investments have already been made, such as the 30 km pipeline (including a tunnel) between the Yallahs river and the Mona reservoir (Porter, 1990). In 1989 the

Water Resources Development Masterplan analyzed the water supply and demand situation up to the year 2015. It drew up water balances for ten areas regrouping the island's 26 watersheds. It foresaw water scarcity in 2015 and the likely need for a costly pipeline through the Blue Mountains.

3. Soil and water conservation activities and their financial viability

Soil and water conservation activities on trial basis

The second FAO project prepared detailed soil and water conservation plans for six watersheds surrounding Kingston (Figure 1). **Since 80% of the area constituted private land operated by mini-farmers, the emphasis was on small farm development.** To test the technical feasibility, economic viability and social acceptability of the various soil conservation measures (developed at Smithfield) the FAO project established two pilot zones of about 40 ha in 1980, where two different approaches for implementation were followed. The attempt to implement a conservation plan for a whole sub-watershed in Rosemount (Wagwater watershed) failed for various reasons: several landowners were living in town and the active farmers were old and in fact also living outside the small sub-watershed, and as a result of that there was also little collaboration between the farmers. The concentrated individual approach in Mount Charles (Upper Yallahs) was more promising. **Tree crop planting** (coffee, cocoa and citrus) with **eyebrow terraces (cuvettes en demi-lune)** was the most successful activity.

The target farm households

Experiences of projects in other areas and socio-economic survey data showed that the mini- or hillside farmers were facing many constraints, and that it was important to differentiate between farm households. From the ten farm types distinguished in the Kingston watershed areas (based on a sample survey of 360 households), only two farm types constituted full-time, progressive farmers, interested enough to participate in terracing their land for annual cropping and/or engage in tree crop plantations (de Graaff, 1996). These (advanced) farmers were **using considerable amounts of fertilisers** allowing them to grow two or even three annual crops (often vegetables) a year, and some of them also used simple irrigation methods. The financial analysis indicated that for such farmers these activities were viable on moderately sloping land (Table 2). Three other farm types represented farmers with an intermediate level of management with low off-farm earnings and some land of their own. These farmers used only small amounts of fertilisers and were growing usually one, sometimes two, annual crop(s) a year, often rootcrops or peas. The financial analysis indicated that for such farmers terracing would not be a viable option, but that **tree crops would be an attractive investment.**

Of the other five farm types, with low levels of farm management (often still some form of shifting cultivation), two were having quite high off-farm earnings, one was mainly engaged in livestock and two others had only rented land on steep slopes. These farm types were also characterised by old age and low interest in farming.

Financial analysis of soil and water conservation activities

In the framework of the watershed planning activities of the FAO Project, a detailed cost-benefit analysis was undertaken for the major conservation and production activities, tested in the pilot-implementation areas (de Graaff and Sheng, 1994). These included: **hillside ditches and bench terraces with annual crops, tree crops (coffee, cocoa and citrus) with individual basins, and forestry.** The forest species

were *Leucaena leucocephala*, *Pinus caribbae* and *Blue Mahoe* (*Hibiscus elatus*).

In the analysis special attention was paid to differences in costs and benefits of the activities, when applied on land with different slopes and soil depths (de Graaff and Sheng, 1994). A distinction was also **made between public and private land and between the three levels of management** of private land users discussed above: advanced, intermediate and traditional. For all interventions an economic lifetime of 20 years was considered and the downstream benefits of the conservation measures were not yet included. Table 3 shows the results of the financial analysis of watershed activities on private land, by means of their internal rate of return on the investment.

The 'without' case was defined as a continuation of annual cropping on the slopes, with a declining production due to on-site erosion. Erosion increases with slope. Therefore each activity shows a peak at a particular slope, in which situation the efficiency (cost/benefit relationship) is highest. For farmers with a relative advanced level of management the optimal land use is to cultivate annual crops and establish hillside ditches on land with a slope below 19%, **to grow annual crops on bench terraces on land from 19 – 33%, to grow coffee (or cocoa) on land from 33 – 58%, and to plant Leucaena on land from 58 – 63%. Steeper land should not be planted at all.** Such recommendations correspond with the recommendations made in the land capability classification (Sheng, 1972). For farmers with an intermediate level of management the benefits of bench terracing only exceed the costs at slopes less than 19%, when hillside ditches provide sufficient erosion control and are more cost effective. These farmers could apply hillside ditches with annual cropping on slopes less than 27%, plant tree crops on slopes between 27 – 53%, and plant *Leucaena* on slopes from 53 – 63%. For traditional farmers with low labour availability and low interest in farming, only low input farming activities (e.g. food forest) would be financially attractive.

Table 2 Financial analysis of soil and water conservation activities by slope degree and for two levels of farm and crop management on private land (in terms of internal rates of return: %)

	Advanced level of management						Intermediate level of management					
	Slopes in percentage						Slopes in percentage					
	9	19	33	43	53	63	9	19	33	43	53	63
<i>Annual cropping</i>												
Hillside ditches & grass barriers	40	22	7	-	-		36	16	2	-	-	
Bench terraces	30	22	15	12	-		15	11	5	3	-	
<i>Perennial crops + eyebrow terraces</i>												
Coffee (BI Mt)	-	-	19	23	19		-	-	17	20	15	
Coffee (P.W.)	-	-	15	18	15		-	-	12	15	12	
Cocoa	-	-	13	14	13		-	-	11	13	11	
Citrus	-	-	12	13	11		-	-	8	10	8	
<i>Forest plantations</i>												
Leucaena	-	-	-	5	11	13	-	-	-	4	12	15
Pine	-	-	-	6	8	9	-	-	-	6	8	9
Blue Mahoe	-	-	-	4	6	6	-	-	-	4	6	6

Source: de Graaff, 1996. Note: cut-off rate for annual and perennial crops is 12 % and for forest plantations 6.5 %

For public land the analysis is different. Government land is acquired for protection purposes and is always steep. Annual cropping is not considered on such land and squatters are prevented from doing so. The 'without' case is defined as a situation of

gradual deforestation and unproductive natural vegetation, of importance for erosion control. Therefore the efficiency of interventions is declining by slope. The Government was interested in investing in tree crops (coffee and citrus) and forest plantations. For the latter a **credit line** was available from the Commonwealth Development Corporation (CDC) **at an interest rate of 6.5%**. The analysis showed that it would be attractive for the Government to plant tree crops on slopes from 33-53%. **In the higher zones with steep slopes Blue Mountain coffee can be planted.** This fetches premium prices on the world market. For reforestation Pinus could be considered on very steep slopes. The firewood species Leucaena could be an option on lesser slopes (de Graaff, 1996). The analysis showed why fierce discussions were held about the choice between coffee and pine plantations on public land. Intercropping of coffee in pine plantations was tried, but not successful.

Kingston watershed development plan.

Following this financial analysis for the respective watershed development activities, the FAO project prepared a US\$ 13 million (1982 prices) follow-up implementation project with various watershed development activities, focusing on a target group of about 1,200 full-time and interested farm households.

An IFAD mission visited Jamaica in 1983 and made several changes in the project design. The project was to focus mainly on coffee and cocoa plantations, and on small scale rural enterprises. This 'Hillside Farmers Support Project' (HFSP) was appraised in 1987 and started in 1988 for a first period of six years, focusing on the Kingston watershed areas and thereafter on a much wider area. Not much attention was paid to soil conservation in critical areas, but a specific watershed management project was undertaken in the Hope River Watershed. This UNEP project implemented various physical erosion control measures on both public and private lands and undertook a public awareness campaign.

(IFAD) Hillside Farmers Support Project (1988-1998)

This project was aimed at providing credit for coffee and cocoa planting and rehabilitation and starting up small-scale enterprises, in order to enhance income and employment and to reduce soil erosion. Project coordination was in the hands of the Agricultural Credit Bank (ACB), which channelled funds through six People Cooperative Banks (PCB's) in the rural areas. Technical extension support was provided by the Coffee Industry Development Corporation (CIDCO) and the Cocoa Industry Board (CciB). The small-scale rural enterprise credit programme was promoted through the National Development Foundation of Jamaica (NDFJ). This small-scale industry development component assisted until 1994 only 45 small enterprises, mostly dealing with grocery retail and other services. The target group for coffee and cocoa development were hillside farmers, who live in the project area and own or operate 1 to 5 ha. IFAD estimated that 35% of farm families would participate in the programme. Until 1993 tree crop development was slower than planned, except for Blue Mountain coffee. Only 14 % of farm households were engaged in the project (Table 3): about 400 ha of trees were planted and 60 ha rehabilitated in the original project area.

There were both external and project related reasons for this. Firstly, prices of coffee and cocoa were very low over the period concerned. Secondly as result of high **inflation, all credit interest rates were adjusted to commercial levels after 1990, increasing up to 24%.**

Thirdly **rumours spread about tree crop diseases** (e.g. coffee leaf rust), and fourthly farmers complained about the inadequacy of the delivery of inputs. For this reason the ACB took control of the field operations in 1994.

Table 3. Number of participants planned and realized under IFAD Hillside Farmers Support Project, in original project area only.

	Households		HFSP - Participants				Perc. of Farm households
	Total rural	Farm -	Rehabilitation Coffee	Cocoa	Planting of Coffee	Cocoa	
Planned in 1988	10,800	6,200	1,020	300	630	190	35 %
Realized in 1993			81	92	570	129	14 %

Source: IFAD, 1988; ACB, 1994.

Having switched the focus to tree crop development, no significant activities or resources for soil conservation were included in the project. In order to fulfil the erosion control objective 160 ha of hillside ditches were established. The project further benefited from soil conservation education efforts of previous projects and to some extent from technical advice provided to farmers by project development officers, which promoted the use of simple soil conservation measures, with individual basins for tree crops and contour planting being the most common (Kent, 2002). While it is not possible to measure the HFSP's (or other coffee development projects) effects on soil erosion, the Mid term review mission suggested to assign a more definitive position on this matter to the project's extension service (IFAD, 1994). A very valuable soil conservation study was produced by the Caribbean Agricultural Research and Development Institute (CARDI; Lindsay and Douglas, 1993), but it has not been put into use, despite its high potential value.

Other watershed development activities in Kingston watersheds (1987-1993)

In the period 1988-1991 the UNDP/UNEP funded Hope River project was aimed at increasing ground cover and reducing erosion and sedimentation. On public land **different forms of checkdams, retaining walls and landslide rehabilitation techniques were demonstrated**, while on private land various conservation activities were demonstrated, whereby **farmers contributed 50% of the costs**. The project started in early 1988, but because of the **damage caused by hurricane Gilbert**, it only became effective in 1989. The project made extensive use of local (waste) materials, such as so-called **'Gilbert logs and poles' and discarded rubber tyres**.

Meanwhile the USAID supported Hillside Agricultural Project (HAP), mainly operating in adjacent areas, chose and campaigned for agronomic soil conservation measures;

More or less irrespective of the above projects, the following major changes have occurred in the watershed areas in the period 1982 - 1993:

- The highest part of the Yallahs watershed became part of the Blue Mountain National Park;
- A Japanese supported project planted some 1,150 ha Blue Mountain coffee, of which part (about 400 ha) is located in the Hope River and Upper Yallahs watersheds;
- Another 400 ha rinate land was reforested;

5. Effects of watershed development activities in Kingston Watershed area

Total costs of the IFAD project amounted to US\$ 14.2 million (1987 prices), 41% of which for investment in coffee and cocoa and 10% for small scale enterprise development. Foreign exchange costs were estimated at US\$ 5.5 million for the IFAD project in 1987. Unfortunately world market prices for coffee and cocoa were depressed

from 1986-1994, but they rose again in 1994. The main product, **Blue Mountain coffee, is sold to Japan and receives a 50% premium price**. Both tree crops and Pinus plantations suffered from hurricane Gilbert, which reduced export earnings.

Changes in land use

To assess the eventual impact of watershed development activities on soil erosion, downstream sedimentation and the water supply one should first assess the land use changes. In 1982 aerial photo interpretation was undertaken for all six Kingston watersheds, but in 1993 aerial photos were only available for Hope River and Upper Yallahs watersheds. Photo interpretation was difficult because of the slight differences between degraded natural forest, fallow land and food forest, the heavily shaded cocoa and the tiny isolated plots of annual crops (Riksen and Versteeg, 1994). Table 4 shows that an increase in coffee area went at the expense of natural and degraded forest. The **deforestation rate was in fact about 2% per year**. The newly planted cocoa has been considered **under food forest**. Table 4 also shows that the pressure on the land is not that high, with annual crops and coffee in 1993 only covering 15 % of the area.

Table 4 Estimated land use changes in two watersheds (1982-1993; in ha)

Land use categories	Hope River		Upper Yallahs		Both areas		
	1982	1993	1982	1993	Change in ha	% area in 1982	% area in 1993
Natural forest	2,217	1,820	2,880	2,400	- 877	49	41
Plantation forest	295	392	716	836	+ 217	10	12
Ruininate, fallow, bamboo	890	809	1,426	1,235	- 272	22	20
Food forest, bananas	477	545	580	610	+ 98	10	11
Annual crops	135	205	495	550	+ 125	6	7
Pure stand coffee	23	238	125	571	+ 661	1	8
Urban, water, bare rock	57	85	95	115	+ 48	1	2
Total	4,094	4,094	6,317	6,317	0	100	100

Sources: FAO, 1982; Hope River Project, 1990; IFAD, 1994. Riksen and Versteeg, 1994.

Changes in soil erosion

The **coffee plantations had few positive effects on erosion**, since they on balance replaced forest and ruinate land. And in their soil conservation study for the IFAD project, Lindsay and Douglas (1993) found that 42% of farmers did not apply any soil conservation measure and that others often applied **simple contour barriers**. It is therefore unlikely that soil conservation measures have had much impact on soil erosion in the watersheds (except in Hope River).

Changes in river discharge

The gradual deforestation and increased plantings of annual and perennial crops shown above would normally lead to an increased total discharge and possibly to a lower well distributed stream flow throughout the year. However, Table 5 shows that the annual mean daily discharge of the rivers has clearly decreased in two of the three watersheds. This may well relate to the long term gradual decrease of annual rainfall as discussed by Eyre (1987), but it is remarkable that it affected Hope River watershed much less. There the discharge distribution over the year deteriorated. The Qmin/Qmax (month with lowest and highest mean daily discharge) ratio became less favourable in Hope River and Rio Pedro watersheds. However, because of large fluctuations in the annual and monthly discharge it is not possible to draw firm conclusions from this. In all

three watersheds water holding capacity and base flow are low, since conglomerates and shales do not allow much groundwater storage within the catchments.

Table 5 Main rivers and changes in annual and (wet and dry) seasonal mean daily discharge in two periods (m³/s)

River: Station:	Yallahs Llandewey			Rio Pedro Harkers Hall			Hope River Cooperage		
	Annual	Wet	Dry	Annual	Wet	Dry	Annual	Wet	Dry
1970 – 1979	3.89	4.79	3.00	1.98	2.92	1.04	0.69	0.87	0.49
1980 – 1990 ¹⁾	2.71	3.12	2.31	1.16	1.72	0.60	0.67	0.94	0.38
1986 – 1991	2.03	2.50	1.56						
		Qmin/Qmax			Qmin/Qmax			Qmin/Qmax	
1970 – 1979		0.206			0.154			0.241	
1980 – 1990 ¹⁾		0.213			0.122			0.231	
1986 – 1991		0.071							

1) For Yallahs period 1980-85; since 1985 water was detracted by pipeline.

Sources: FAO, 1982; Underground Water Authority; pers. comm.

Effects on reservoirs and water supply

Of the two reservoirs, the Hermitage reservoir is the most affected by sedimentation. The watershed of 1,300 ha upstream the reservoir is for 80% owned by the National Water Commission, but it has been encroached upon by squatters. In less than 40 years the reservoir capacity declined by half, and after dredging **the reservoir lost again much of its capacity after the Gilbert hurricane in 1988**. Despite this, the average yearly supply of water to Kingston increased by about 54% between 1977 and 1992, but this was largely due to the pipeline from Upper Yallahs.

6. Discussion and conclusions

In the period 1960-2000 various soil conservation and watershed development projects were executed in Jamaica. Demonstration and pilot implementation activities were followed by attempts towards large scale implementation. Because of the very steep terrain and erodible soils **the initial focus was on physical conservation measures, such as bench terraces. These top-down approaches failed**, since not enough attention was given to the circumstances under which most small farmers operate (e.g. off-farm work, old age, not much extension support). A financial cost-benefit analysis showed that these conservation measures would only be efficient for a limited number of full-time farmers with advanced level of management. It also showed that **tree planting would be financially attractive for a larger number of farmers**. The subsequent projects focussed indeed **more on agro-forestry** and planting of coffee and cocoa. **Coffee planting was successful**, thanks to the high prices of Blue Mountain coffee. But even these projects fell short of expectations and did eventually not contribute much to erosion control and to reducing sedimentation in water supply reservoirs. An attempt to stimulate off-farm activities in the watershed by the HFS project was also not successful. Many of the small farmers in the watersheds are older farmers, who see hillside farming as a way of life, also after a career elsewhere (Woodsong, 1994). They are **content with their traditional farming methods and simple conservation measures and do not care about the gradually increasing downstream effects**, which are anyhow usually overshadowed by the severe damage caused by the more and more frequent hurricanes. And **simple annually renewed measures as trash-barriers have the advantages that the trash also contributes to soil fertility**. It is clear that in the past 50 years **insufficient attention has been paid**

to farmer's perceptions of soil erosion and to their simple traditional practices. But, as stated by Reij et al. (1996) that technology adoption is a product of multiple influences, some farmers in the Yallahs valley have indicated that they have adapted their more or less indigenous technologies also under influence of policies and extension work as from the time of the Yallahs Valley Authority (Kent, 2002).

References

- Blustain, H., 1982. Resource management and agricultural development in Jamaica; lessons for a participatory approach. Cornell University, Ithaca, U.S.A.
- CIA World fact book, 2008. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>
- Edwards, D.T., 1995. Small farmers and the protection of the watersheds; the experience of Jamaica since the 1950's. Occasional paper series No.1., UWI Centre for Environment and Development, Kingston.
- Eyre, L.A., 1987. Jamaica: test case for tropical deforestation. *Ambio*, 16 (6), 338-343.
- FAO, 1982. Terminal Report Project FAO/JAM 78/006; Strengthening the national soil conservation programme for integrated watershed development, Rome.
- GOJ, 1989. National Water Resources Development Masterplan of Jamaica; Final Report (Main Volume). Government of Jamaica, Kingston.
- Graaff, de J., 1996. The price of soil erosion; an economic evaluation of soil conservation and watershed development, Mansholt Studies No. 3. Backhuys Publishers, Leiden.
- Graaff, J. de and Sheng, T.C., 1994. Land capability and the economic analysis of soil conservation and land use: a case study in Jamaica. In: Napier, T.L., Camboni, S.M. and El-Swaify, S.A., 1994. Adopting conservation on the farm: an international perspective on the socio-economics of soil and water conservation, pp. 357-368.
- Graaff, J. de., 1997. Evaluating the sustainable development of the Kingston watersheds in Jamaica, 1980-1983. *Caribbean Geography*, 8 (1), 46 -56.
- Hope River Project, 1990. Information on Project achievements (pers. comm. By C. Colterell).
- IFAD, 1987. Jamaica Hillside Farmers Support Project; Appraisal report, Rome.
- IFAD, 1994. Jamaica Hillside Farmers Support Project; Mid-term evaluation report. Rome
- Johnson, I.E., 1984. Review of technical documents, presented in the IICA/Jamaica series. IICA, Kingston.
- Kelley, H.W., 1990. Keeping the land alive. FAO Soils bulletin No 50. FAO, Rome.
- Kent, R.J., 2002. History and necessity: the evolution of soil conservation technology in a Jamaican farming system. *The Geographical Journal*, Vol 168, No 1., pp 48-56.
- Lindsay, J. and Douglas, G., 1993. Soil conservation study. Final report IFAD/GOJ Hillside Farmers Support Project, CARDI, Kingston.
- McBain, H., 1985. Towards a viable water utility in Jamaica. *Social and Economic Studies*, 34 (1), 77-96. Kingston.
- McDonald, M.A., Healey, J.R. and Devi Prasad, P.V., 1992. The effects of secondary forest clearance on soil conservation: preliminary findings from the Yallahs valley, Jamaican Blue Mountains. *Caribbean Geography*, 3 (4), 253-260.
- McDonald, M.A., Healey, J.R. and Stevens, P.A., 2002. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains in Jamaica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92, 1-19.
- McGregor, D.F.M. and Barker, D., 1991. Land degradation and hillside farming in the Fall River Basin, Jamaica. *Applied Geography*, 11, 143-156
- Miller, L.A. 1992. A preliminary assessment of the economic cost of land degradation: the Hermitage catchment, Jamaica. *Caribbean Geography*, 3 (4), 244-252.
- Porter, A.R.D., 1990. Jamaica, a geological portrait. Institute of Jamaica, Kingston.
- Ramsay et al., 1982. Summary of Preparation report for Kingston Watershed Project. FAO, Rome.
- Rao, J.M., 1990. Aspects of Jamaican agriculture. *Social and Economic Studies*, vol. 39, no. 1, pp. 167-201. Kingston.

- Reij, C., Scoones, I. and Toulmin, C., 1996. Sustaining the soil: indigenous soil and water conservation in Africa. Earthscan, London.
- Riksen, M.J.P.M. and Versteeg, J.W.C., 1994. Soil and water conservation in the Kingston watersheds, Jamaica, 1980-1993. Msc thesis, Agricultural University Wageningen
- Sheng, T.C., 1972. A treatment-oriented land capability classification scheme for hilly marginal lands in the humid tropics. *Journal of Scientific Research Council*, Jamaica 3, 93 – 112.
- Vernon, K.C. and Jones, T.A., 1959. Soil and land use surveys, no. 4. Jamaica, Parish of St-Andrew. The Imperial College of Tropical Agriculture, Trinidad, W.I.
- Woodson, C., 1994. Old farmers, invisible farmers: age and agriculture in Jamaica. *Journal of Cross-Cultural Gerontology* 9: 277-299.
- World Bank, 1993. Jamaica: Economic issues for environmental management. The World Bank, Washington, D.C.
- Wright, C., 1979. The Caribbean minifarmer as the recipient of agricultural technology. Consultant paper, FAO, Rome.

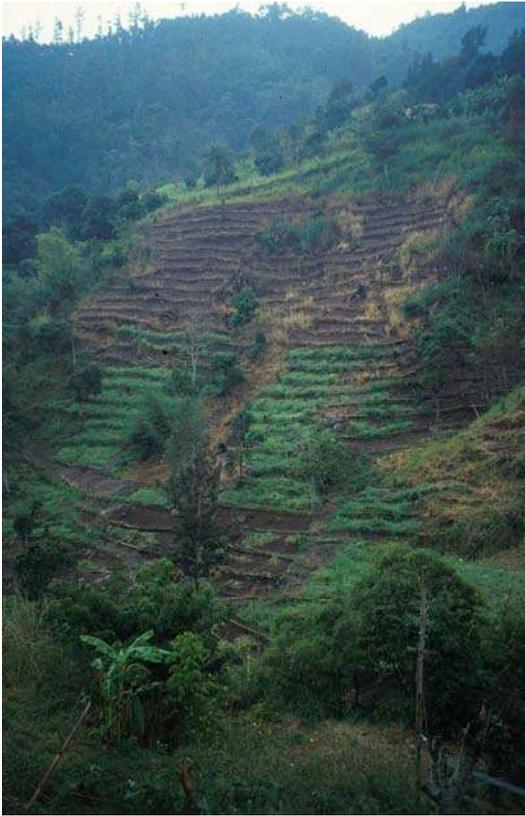


Figure 2: *Trashbarriers in the Upper Yallahs*

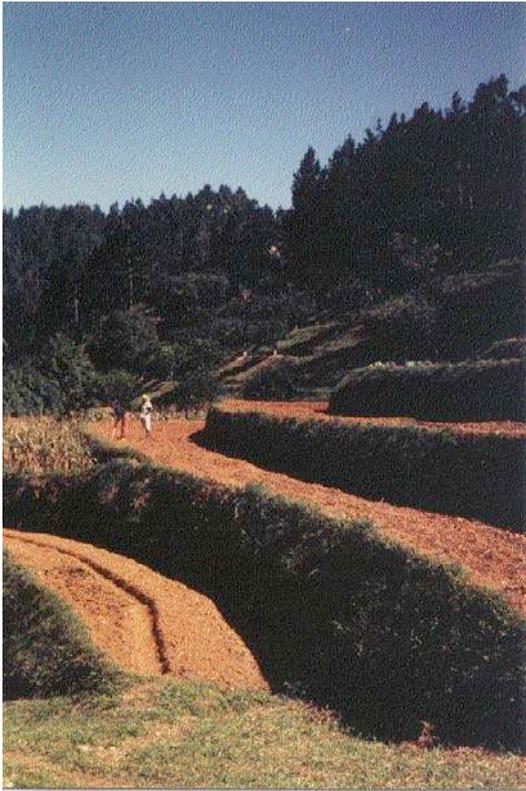


Figure 3: *Bench terraces at Smithfield Demonstration Centre*



Figure 4. *Coffee plantation on steep slope.*

Aspects socio-économiques et démographiques du développement durable de la société rurale du Burundi

Hervé DUCHAUFOUR
herve.duchaufour@wanadoo.fr

Résumé : Les autorités belges de l'époque coloniale exposaient des scénarios catastrophiques soulignant l'impact des densités de population sur la dégradation des sols et sur la baisse de la consommation alimentaire. Ils prévoyaient les pires famines si des mesures d'intensification et de redistribution des terres n'étaient pas opérées. Des calculs de superficie cultivable basés sur une alimentation d'une famille moyenne, ont donné lieu à diverses projections relatives à la politique de transfert des populations. Le législateur visait le développement économique de nouvelles régions vides de population et improductives par l'installation d'entreprise agricoles et le déplacement de populations rurales vers ces nouvelles terres.

Il est apparu qu'il valait mieux être circonspect sur l'utilisation des statistiques foncières. Le monde rural burundais évolue indépendamment des schémas malthusiens par le perfectionnement d'une agriculture conservatrice intégrant l'élevage, par le développement d'une activité artisanale ou encore, pour les situations les plus marginales, par un exode vers des régions vacantes. L'évolution dynamique des systèmes agricoles, basée sur l'activité agricole traditionnelle, a permis le doublement de la production en moins de 30 ans principalement sous l'effet de la pression démographique. Cette dynamique se traduit par une mutation des systèmes et pratiques culturelles et l'adoption d'innovations dont l'objectif est le cumul du capital fertilité des terres pouvant accroître la productivité par unité de surface et par individu.

Mots-clés : Burundi, pression démographique, schéma malthusien, migrations, terres vacantes, crise paysanne, mutation, agriculture conservatrice

Socio-economic and demographic aspects of sustainable development of Burundi's rural society

Summary: Belgian authorities of the colonial era formulated catastrophic scenarios highlighting the impact of population density on soil erosion and reduction of food consumption. They forecasted the worst famines if there was no measure taken to intensify and redistribute lands. Cropping area calculations based on alimentation of an average family have given rise to various projections related to population transfer policy. The legislator aimed to the economic development of new unpopulated and unproductive areas through the installation of agricultural enterprises and displacement of rural populations towards these new lands.

As it appeared, researchers needed to be cautious about the utilization of land use statistics. Burundi rural society evolves, independently from Malthusian schemes, through the improvement of a conservative farming integrating livestock, the development of handcrafting or, for the most marginal cases, through an exodus towards free lands areas. The dynamic evolution of the farming systems, based on traditional agriculture, allowed, in less than 30 years, to double production, mainly due to the effect of demographic pressure. This dynamics results in the mutation of the farming and cropping systems and the adoption of innovations with prospect to increase the capital "soil fertility" that can improve productivity per unit area and per individual.

Keywords: Burundi, demographic pressure, Malthusian scheme, migrations, free lands, peasant crisis, mutation, conservative farming

Préambule

Cet article est le fruit d'un ouvrage rédigé par l'auteur en avril 1995, intitulé « Le malaise social du Burundi rural : réalités historiques et actuelles de l'érosion ». Il fait l'objet d'un travail de synthèse d'une recherche menée par le Programme de Recherche pour la Protection de l'Environnement à l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi entre 1990 et 1995. Quelques données ont été réactualisées mais l'essentiel des résultats relate une situation au Burundi d'avant les années 2000.

Introduction

Tout document traitant des problèmes de conservation et de restauration des sols font, dès leur introduction, une comparaison entre les terres protégées par un couvert forestier naturel et les terres exploitées par l'homme pour l'agriculture. Le bilan est toujours en défaveur du dernier cas. Pourtant l'homme s'est toujours entraîné à en réduire les effets néfastes. Si la mise en culture des terres augmente généralement les risques de dégradation, les sociétés rurales ont cherché à élaborer progressivement des méthodes pour maintenir à long terme leur productivité. Mais si les besoins évoluent trop vite, se développe une crise à laquelle les sociétés rurales ne pourront répondre. Le rôle de l'Etat et de l'aide bilatérale devient alors primordial pour aider cette société à surmonter cette crise en lui donnant les moyens financiers et techniques de produire mieux et différemment. En allant un peu plus loin que la thèse simplificatrice de l'homme destructeur et pillier de biens environnementaux, nous verrons aussi la manière dont il combat pour empêcher qu'une terre ne meurt sous les effets déséquilibrants d'une exploitation outrancière et maladroite.

1. L'expansion démographique est-elle vraiment l'ennemi n°1 de la conservation du sol et du patrimoine naturel ?

1.1 Le schéma malthusien et ses solutions orthodoxes : bref aperçu de la colonie à nos jours.

En évoquant les deux théories antagonistes de MALTHUS et BOSERUP, nous sommes amenés à réfléchir sur le problème de l'expansion démographique au Burundi, l'un des pays le plus peuplé d'Afrique avec le Rwanda. Y a-t-il un danger réel de crise alimentaire exercé par la pression sur la terre et autrement dit, surpopulation est-il synonyme de sous-développement ?

A ce sujet, LE BRAS cité par GUIZOL (1993) fait remarquer que les faibles densités de population ne semblent pas plus propices au développement que le sont les pays surpeuplés. La réalité est plus complexe. Selon lui, 5% de l'humanité vivant dans les pays faiblement développés avaient en 1990 une densité de 16,4 hab/km², les 10 % suivants une densité de 33,7 hab/km² alors que la densité moyenne mondiale était de 54 hab/km². Quant au continent africain, il est caractérisé par une densité démographique globalement faible avec ses 28 hab/km² (ONU, 2009). Pour ce même auteur, il n'y aurait pas de relation directe entre sous-développement et surpopulation. Les crises alimentaires du continent africain auraient davantage à voir avec des désordres politiques intérieurs sans oublier pour autant, les conditions climatiques défavorables qui touchent les pays sahéliens. En revanche, il souligne

que la croissance démographique et les fortes densités locales ont un impact sur la dégradation des sols et sur la baisse de la consommation alimentaire.

Au temps de la colonie, les ingénieurs belges analysent la situation en regard des problèmes du moment : multiplication des famines, persistance de la sous-alimentation, déficience de la productivité vivrière et du bétail. A ces maux, les deux principaux remèdes proposés sont l'émigration du surplus de population et la réduction du cheptel bovin pour accroître la superficie cultivée. TONDEUR en 1948, ajoute l'autre alternative de maintenir la totalité de la population en place sous réserve de quatre conditions :

- Une intensification maximum des cultures impliquant l'usage massif de fumier et de compost, voire d'engrais minéraux ; des dispositifs anti-érosifs efficaces, une amélioration des plantes cultivées ;...
- Une intensification maximum des élevages avec stabulation, une saturation de l'espace par les cultures fourragères, le recours aux aliments concentrés et la fumure minérale des surfaces pâturées (avec ces deux propositions, TONDEUR avançait déjà à cette époque les bienfaits d'une gestion conservatoire de la biomasse et de la fertilité des sols) ;
- Une redistribution rationnelle des terres au sein des localités ;
- Un ralentissement de l'accroissement de la population.

Il estime cependant que ces mesures d'intensification et de redistribution des terres n'apporteront qu'un soulagement qui sauvera temporairement le Ruanda-Urundi d'une évolution catastrophique. Pour lui, elles seront insuffisantes pour assurer un large développement des revenus de l'agriculteur en raison de l'exiguïté des surfaces par exploitation. En considérant le Ruanda-Urundi dans son ensemble, il trouve par habitant 57 ares de terres arables et 0,24 bête bovine. GUICHAOUA (1989) rapporte qu'en 1948, les superficies cultivées (topographiques) dénombrées par les autorités belges représentaient 30 % de la superficie du Ruanda-Urundi, alors qu'elles n'atteignaient que 1% au Congo. Par ailleurs les documents de synthèse du ministère de l'Agriculture du Burundi retiennent en 1982 une surface de 39 ares par personne, c'est à dire une réduction de 2/3 par rapport à 1948.

De ses calculs, TONDEUR (1948) confirme que chaque habitant disposerait de 16 grammes par jour de viande et de 0,045 litre de lait soit environ 2,6 grammes de matières grasses : « *Si on considère en effet que le cheptel assure au maximum une petite bouchée de viande et un dé à coudre de lait par habitant et par jour, on doit conclure logiquement à la nécessité d'augmenter la productivité du cheptel si pas sa quantité* ». Etant donné qu'il est difficile d'intervenir sur la croissance démographique, il propose finalement de réduire par émigration la densité de la population, d'intensifier rationnellement l'exploitation du bétail et d'accroître et maintenir « *la relation cheptel / habitant* ». En fin de compte, la superficie par habitant doit être suffisante pour assurer, outre sa propre alimentation, la production de produits qui peuvent être vendus en permanence au marché local.

Le transfert envisagé d'une partie de la population rurale vers d'autres régions peu densément peuplées permettait de réaliser une amélioration sensible de la situation par une redistribution artificielle de l'occupation humaine. TONDEUR considère que la proportion de la population qui pourrait trouver de nouvelles terres de cultures ne dépasserait pas 5% de la population du Ruanda-Urundi (3,5 millions

en 1948). Il estime également que l'émigration proprement dite ne pourrait absorber plus de 4,2%. De ces chiffres, il conclut: « *les diverses mesures de déplacements de populations, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur du Ruanda-Urundi, en utilisant au maximum les régions vacantes, ne parviendraient donc pas à absorber plus de 9,2 % de la population totale du territoire...//. Si nous considérons maintenant que l'indice démographique est de 1,22 % au Ruanda-Urundi, nous pouvons conclure que l'efficacité des plus vastes programmes de transplantation de populations se limiterait à absorber pour une période de quelques sept années le croît annuel de la population. Si d'autre part nous considérons théoriquement que la population reste à son niveau actuel, le résultat obtenu se limiterait à augmenter de 9% la superficie de terres disponibles par tête d'habitant, ce qui n'apporterait qu'une amélioration bien minime à la situation misérable des populations rurales* ».

En exposant de manière tragique le problème social créé par la surpopulation combinée avec la dégradation des terres, les conclusions les plus pessimistes pourraient se justifier. Mais très vite, il apparaît qu'il vaut mieux être circonspect sur l'utilisation des statistiques foncières.

A la même époque, GOUROU (in GUICHAOUA, 1989) a évalué la superficie nécessaire par « mâle adulte valide » au Ruanda-Urundi à 3,5 hectares pour permettre la reproduction d'une famille moyenne. Ces résultats repris par le gouvernement belge, puis amplifiés dans un rapport des Nations Unies, donnent lieu à diverses projections relatives à la politique de transfert estimant qu'un total de 1 494 330 personnes seraient à transplanter hors du territoire d'ici 1959 pour maintenir des densités agricoles à la limite de la couverture des besoins vivriers. Mais ces chiffres sont ensuite tombés rapidement à 2,2 ou 5 hectares selon la pluviosité puis à 1,7 hectare en 1972 et certains auteurs proposaient même pour le Rwanda 1,07 hectares par exploitation en 1970 (SIRVEN, 1984). La notion de superficie cultivable semble être finalement relativement extensible et les chiffres bien aléatoires.

BOUDERBALA dans son rapport pour « l'appui à la conception d'un code rural » (mission FAO, 1993) pose la question sur la définition de terre libre : « *Est-ce une terre libre de tout droit réel ou d'une terre non exploitée ou insuffisamment exploitée ?* ». Le concept, instauré par la législation coloniale, visait avant toute chose à créer des noyaux de populations dans des zones improductives que l'on désirait ouvrir à l'installation économique par l'installation d'entreprises agricoles européennes (TONDEUR, 1948). Depuis, ce concept a donné lieu aux abus que l'on sait. « *Il paraît inévitable de partir de ce que les agriculteurs locaux considèrent eux-mêmes comme terres non utilisées et donc de négocier avec eux la définition des critères et les modalités de leur application* » (BOUDERBALA, 1993).

GUICHAOUA rapporte qu'en 1987, pour le Burundi, il restait encore quelques 560 000 hectares disponibles pour l'agriculture, les pâturages et les lotissements, soit de quoi lotir avec 1,7 hectares par ménage environ 325 000 exploitations nouvelles (tableau 1). Cela représente 11 ans de marge en reprenant le système d'hypothèses du ministère du Plan.

Tableau 1 : Disponibilité en surface par région naturelle du Burundi en 1987

	Bugesera	Buragane	Bututsi	Buyenzi	Buyogoma	Bweru	Imbo	Kirimiro	Moso	Mugamba	Mumirwa	Burundi
<i>Terres encore disponibles</i>	42 671	57 857	941	14 999	158 944	45 522	9 040	8 090	160 495 (*)	2 531	57 510	558 600
<i>En % de la SAU</i>	25,6	56,4	0,70	8,0	41,8	22,1	5,4	3,2	62,5	1,20	25	24,4
<i>Nombre d'années de marge</i>	14	25	(-) 1	4	27	12	2	1	47	(-) 1	11	11

* 42 000 hectares sont exploités par les éleveurs du Bututsi
 Source : Données du Ministère du plan (in GUICHAOUA).

Il faut retenir de ce tableau que les terres vacantes sont toujours aussi nombreuses vers la fin des années 80 qu'elles ne l'étaient quelques décennies auparavant. Les projections statistiques du début des années 50 qui semblaient prévoir une saturation des terres en moins de dix années doivent être révisées à la baisse ou même être abandonnées. Aujourd'hui, si aucune autre étude n'apporte des chiffres sur les terres arables disponibles, il suffit de traverser les trois régions les moins peuplées du pays (Buragane, Buyogoma et Moso) pour se rendre compte de la vacance de grandes surfaces (savane arborée). Cela est d'ailleurs surprenant pour un pays à très forte densité rurale et qualifié de surpeuplé.

En accord avec BOUDERBALA (1993), il serait toutefois inconvenant de se reposer sur ce potentiel vacant pour suppléer la crise foncière dans certaines régions. Sa prolongation n'est pas indéfinie et a tendance à se réduire comme une peau de chagrin.

Un autre aspect déjà mentionné par les colons, et toujours d'actualité, concerne la façon de présenter la croissance démographique comme la cause première des problèmes d'érosion et de dégradation. Un scénario connu que COCHET (1993) a caricaturé volontairement dès la première page de son étude sur la dynamique des systèmes agraires de la manière suivante : « L' "explosion démographique", en provoquant un accroissement considérable de la pression foncière aurait entraîné : une extension des surfaces cultivées au détriment des

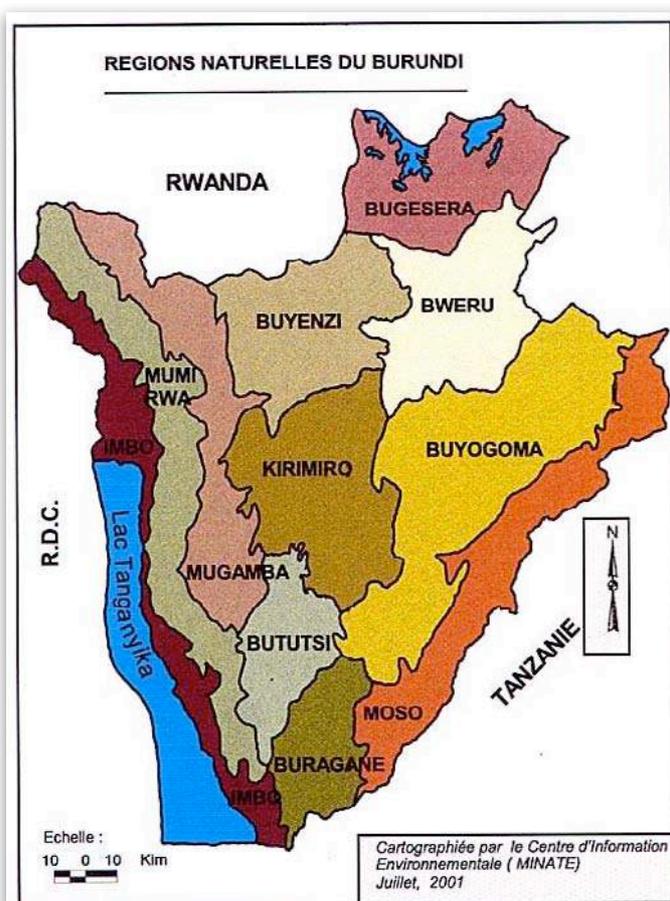


Figure 1 : Les onze régions naturelles du Burundi

pâturages et des terres laissées en jachère, une régression consécutive de l'élevage, la diminution de la surface moyenne par exploitation agricole, la mise en culture de terrains à forte pente et l'aggravation des phénomènes d'érosion, une baisse généralisée de la fertilité et une chute des rendements, la généralisation du sous-emploi à la campagne ». Ce scénario interprétatif suit bien les traces de MALTHUS. Si déjà par le passé la catastrophe était imminente, que devrait-on dire aujourd'hui....

Il faut reconnaître que la situation démographique du pays est particulièrement importante. S'il est difficile de donner un chiffre exact du croît annuel, nous savons que la croissance de la population est très forte: 1 500 000 en 1913 (SIRVEN, 1983), 2 millions en 1947-1948 (TONDEUR, 1948), 4 millions en 1979 (recensement général), 6 millions en 1995, 9 millions en 2009 (Ministère du Plan). La population urbaine restant toujours relativement faible mais en légère augmentation depuis une quinzaine d'année (de 5 à 6 % en 1995 à 10,9 % de la population en 2008), la pression s'est donc exercée surtout sur les zones rurales et les terres agricoles. Il n'est par conséquent pas étonnant qu'on estime aujourd'hui que la plupart des familles disposent de moins de 1 hectare, soit par personne 20 à 30 ares. Mais c'est aussi avec de tels propos et des manipulations de chiffres que les grandes idées de dégoisement des régions surpeuplées ont fait leur chemin avec, comme but recherché, de donner à chaque habitant une superficie de terre suffisante.

1.2 Les migrations: une solution ?

A l'époque, le déplacement des masses humaines était envisagé sous deux angles différents : une partie pouvait passer vers une classe ouvrière ou artisanale et rejoindre les grosses industries d'exploitations minières et de traitement de minerai du Haut Katanga. Ces industries recrutaient dans les zones surpeuplées d'importants effectifs de main d'œuvre avec leur famille. Cependant le prélèvement opéré ne représente qu'une toute petite minorité en admettant que les industries et les grandes plantations du Kivu puissent absorber quelques 5 000 personnes par an (chiffre avancé par TONDEUR). Le passage d'une partie de la population vers la classe ouvrière ne suffit donc même pas à compenser l'augmentation annuelle de la population. Une autre partie pouvait recourir au déplacement vers des régions peu ou pas occupées en considérant que ces populations déplacées devaient trouver dans leur nouvel habitat des conditions générales leur permettant d'y poursuivre les mêmes activités agro-sylvo-pastorales. Mais très vite une autre politique se justifia plus rentable en regroupant les populations en villages. Elle devait contribuer « à l'éclosion d'une vraie vie sociale et devait se substituer à la mentalité individualiste des populations dispersées » (Gouverneur PETILLON, 1951, in GAHAMA, 1983).

BOUDERBALA (1993) distingue deux catégories de migrations : les migrations internationales et les migrations internes. Les premières se produisent sous la pression de la violence dans un contexte de crise grave aux conséquences dramatiques durables (réfugiés politiques). Il y a abandon forcé des terres durant une très longue période. Les recompositions foncières provoquent des tensions et des conflits qui se réactivent à l'occasion du retour des réfugiés. BOUDERBALA ajoute que la situation économique et foncière des ruraux aggrave les conséquences de ces crises sans en être la véritable cause. Les agriculteurs ne quittent pas leur terre en raison de la pression foncière ou de la baisse de production. Le retour est lié au rétablissement de la sécurité et de la confiance. Ces problèmes fonciers sont graves et demandent d'y réfléchir lors des procédures de retour en se posant la question sur

le droit et l'équité de restituer les terres qui ont été abandonnées de force. La réponse ne peut être qu'apportée sur place, mais bien souvent des motifs rédhibitoires empêchent la réinsertion des réfugiés sur leur ancienne terre.

Les migrations internationales volontaires, à caractère économique, sont frontalières avec la Tanzanie et l'ex-Zaïre (aujourd'hui République Démocratique du Congo). Elles alimentent elles aussi des tensions entre immigrés et terres d'accueil ; elles n'apparaissent pas, dans la conjoncture actuelle, comme une solution significative à la surpopulation rurale (BOUDERBALA) même s'il existe à quelques dizaines de kilomètres des frontières, des zones totalement désertes.

Les migrations internes existent depuis tous les temps. Si autrefois, elles ont été provoquées artificiellement et vouées à l'échec (villagisation pré et post-coloniale), aujourd'hui elles font l'objet d'initiatives personnelles mais leur ampleur est modérée. Dans les régions les plus densément peuplées (Muramvya, Ngozi, Kayanza et Gitega), lorsque cela s'avère nécessaire, les Burundais se résignent à partir en direction des régions les moins peuplées, dites régions pionnières (Moso, Buragane et Buyogoma). La région du Bugesera oriental (zone de Ruzo sur la commune de Giteranyi en province de Muyinga) est ainsi passée d'une densité de 20 habitants à la fin des années 70 à plus de 250 en 1993, les migrants venant tous de la région de Kayanza et Ngozi (BENDJEFFAL et al, 1993). La première génération de migrant ont bénéficié d'un octroi de 2 ha de terre jusqu'en 1983. Depuis la terre s'achète à des coûts de plus en plus élevés.

Certains « professionnels de la migration » ont pu obtenir en toute gratuité jusqu'à 14 hectares (7 attributions de lot de 2 hectares) et revendent leurs terres au compte-gouttes et à prix d'or après les avoir travaillées et améliorées. Ils ont apporté avec eux un savoir-faire technique et les variétés végétales de leur région. Le grevillea et l'eucalyptus font ainsi partie du paysage agraire alors qu'ils étaient totalement absents quelques décennies auparavant. A l'inverse, dans les régions forestières peu peuplées (Buyogoma) occupées par des natifs, l'introduction des essences forestières exotiques a été un échec, les habitants ayant l'habitude de prélever directement dans la nature le bois de chauffe ou de construction dont ils ont besoin. Le Projet des Services des Travaux Publics à haute intensité de main d'œuvre (PSTP-HIMO) qui a œuvré dans la province de Ruyigi dans les années 90 est le seul projet à avoir donné les plants agroforestiers (coût de revient = 15 Fbu/plant, sans compter la diffusion !) et à avoir des difficultés d'écoulement des stocks. La population ne s'est jamais sentie concernée parce qu'elle n'éprouve aucun problème en bois de feu ou de construction (savanes à *Brachystegia* et forêts relictées en relative abondance).

Les migrations saisonnières sont quant à elles très importantes. Elles se produisent pour plusieurs raisons différentes bien qu'elles aient toutes un intérêt économique important pour le migrant : transhumances vers les bons pâturages des zones peu peuplées (Moso), recherche de travaux saisonniers, commerce de longues distances. 25 % des hommes de 15 à 35 ans d'après BOUDERBALA, se déplacent surtout pour les travaux saisonniers agricoles ou extra-agricoles. Les mouvements sont fonctions de la spécialité de la région comme la pomme de terre dans le Mugamba Nord, le haricot dans le Bweru et le Bugesera, le paillage du café dans le Buyenzi,... ou les travaux artisanaux des zones d'agglomération. Ces migrations sont d'autant plus importantes qu'elles sont proches d'un pool

économique urbain (DRION, 1992, DUCHAUFOR, 1993, NDAYIKENGURUKIYE, 1993).

Le Burundais est profondément attaché à la terre, elle-même étant signe de prospérité et de pérennité. Mais il n'est pas pour autant l'homme sédentaire que l'on a trop tendance à lui attribuer. Il sait être flexible et trouver des réponses devant une situation nouvelle. Il n'hésitera pas à partir s'il considère sa terre d'origine trop exiguë et insuffisante pour faire vivre sa famille. Le paysan burundais n'hésitera pas à céder la totalité des terres à ses fils pour éviter d'engendrer une compétition au sein de l'enclos familial. Mais aucune statistique ne permet de dire que la pression démographique exerce et exercera une forte mobilité des Burundais au risque de voir un jour les villes se surpeupler, les campagnes vides se remplir et les expatriations s'amplifier. Depuis un siècle, les schémas malthusiens prédisent les pires catastrophes en montrant une sorte d'évidence à nos yeux : familles nombreuses vivant sur un lopin de terre, milieu fragile et pauvre (pentes fortes + acidité) brutalement agressé par les méfaits de l'érosion, détérioration de l'équilibre besoins et ressources... Cette catastrophe s'est au contraire transformée en intensification, diversification et complexification agricoles avec lesquelles les agriculteurs burundais ont démontré leur capacité à doubler leur production en moins de 30 ans. Les performances paysannes énumérées par l'équipe de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon¹) et l'analyse de leurs objectifs propres en sont un vibrant témoignage (COCHET, 1993 et 2001). De même, les enquêtes agricoles du Service National de Statistiques montrent que l'on n'observe pas de baisse de la satisfaction des besoins alimentaires malgré la diminution de la taille des exploitations et le maintien d'une économie de subsistance (POUPART, 1987).

En définitive, il en découle que le monde rural évolue lui-même de différentes manières soit en perfectionnant une agriculture conservatrice qui intègre un élevage en adéquation avec ses moyens, soit en développant des activités artisanales ou en se déplaçant vers des régions vacantes. Nul n'est besoin de lui dicter des mesures. Il est en revanche plus judicieux de mettre à profit ses initiatives d'intensification des cultures et des élevages ou son déplacement pour réaliser une amélioration foncière, matérielle, sociale et morale (à l'exemple des projets de développement rural intégré de Kinyinya et de Nyanza-lac).

1.3 Crise paysanne ou modernisation de l'agriculture

En se bornant à la théorie de MALTHUS, les projections sur l'avenir du paysannat burundais seraient automatiquement pessimistes et sombres si d'autres alternatives autres que celui du secteur primaire ne venaient à se développer. Certaines études scientifiques présentent d'ailleurs la croissance démographique comme la cause majeure de toutes les crises rurales.

Dans sa réflexion sur l'évolution des systèmes d'exploitation agricole au Burundi, HUBERT (1990) propose d'étudier à partir d'une typologie des exploitations (enquête dans la région peuplée du Kirimiro au centre du pays, figure 1) et à la suite de nombreuses discussions entre collègues, des hypothèses d'évolution du monde rural. Il établit un classement basé sur l'âge de l'exploitant dans lequel il met ainsi en évidence une évolution dynamique entre l'âge, l'amélioration des revenus et les

¹ Actuellement AgroParisTech

besoins de l'exploitation. Comme tout exploitant souhaite améliorer son sort par l'accroissement progressif de ses ressources et de ses moyens de production, l'exploitation connaîtra donc en général une dynamique, laquelle démarre par des valeurs basses (au moment des premières acquisitions de parcelle = *icibare*) qui vont s'accroître vers des valeurs hautes, jusqu'à la division de l'exploitation lors des héritages et mariages. C'est le cycle de vie des exploitations défini par BERGEN (1988) et repris par d'autres auteurs dans leur typologie (DRION, 1992 et 1993; DUCHAUFOR, 1993). Cette dynamique est propre à une économie basée essentiellement sur l'activité agricole traditionnelle. La question que se pose HUBERT est de savoir si les conditions actuelles permettent encore aux jeunes d'améliorer leur situation de départ à travers l'activité agricole dite « traditionnelle » alors que, sous la pression démographique principalement, les disponibilités en terres cultivables et fertiles s'amenuisent ?

Pour HUBERT, l'exploitant agricole seul parvient avec de plus en plus de difficulté à couvrir les besoins et que sous l'effet de ces besoins, une mutation se crée vers, non seulement une monétarisation complexe du système mais aussi vers des activités lucratives hors-exploitation. La dynamique de cette mutation se traduit également pour d'autres cas par l'adaptation de systèmes et pratiques culturelles pouvant accroître la productivité par unité de surface et par individu (mutation identifiée par toute une série d'auteurs notamment : BERGEN, 1988 et 1992 ; NOBERA, 1989 ; VERHAEGEN et al 1990 ; NDIMIRA, 1991; BARANTWARIRIJE et HABONIMANA, 1992 ; DRION, 1992 ; COCHET, 1993 – 2001 – 2004 ; DUCHAUFOR, 1993).

HUBERT conclut que le schéma de vie d'une exploitation tendra à se déformer par bipolarisation en deux catégories. La première réunira les valeurs basses qui s'accroîtront par le jeu des héritages, des morcellements et de la pression sur les terres. Cette pression devient à ce moment-là, un des principaux facteurs de déformation. La seconde est caractérisée par les valeurs hautes qui se réduiront à leur tour jusqu'à disparaître puis reparaître en suivant un nouveau mouvement des valeurs basses vers les valeurs hautes ; et ainsi de suite tant que le développement du pays restera axé sur l'exploitation agricole traditionnelle. Pour l'auteur, le glissement entre les deux catégories est permanent et les situations les plus marginales engendrent des exodes vers d'autres régions agricoles moins peuplées ou vers les centres urbains. Les analyses de VERHAEGEN et al (1990) penchent tout à fait dans ce sens en employant les mêmes termes de « *bipolarisation et dualisation* » du système agraire. Ils ajoutent que la marginalisation des exploitations les plus démunies ne pourra jamais déboucher sur une accumulation sensible si des facteurs d'accélération ne viennent pas amplifier le processus. L'émigration définitive constitue la voie douloureuse de sortie en entraînant la séparation des membres d'une même famille et la dislocation de la propriété rurale : « *L'émigration ne constitue qu'une solution transitoire et à effet temporaire qui reporte à demain un problème devenu aujourd'hui préoccupant : la forte croissance de la population du Burundi face à une production agricole relativement stagnante* » (NDIMIRA, 1991).

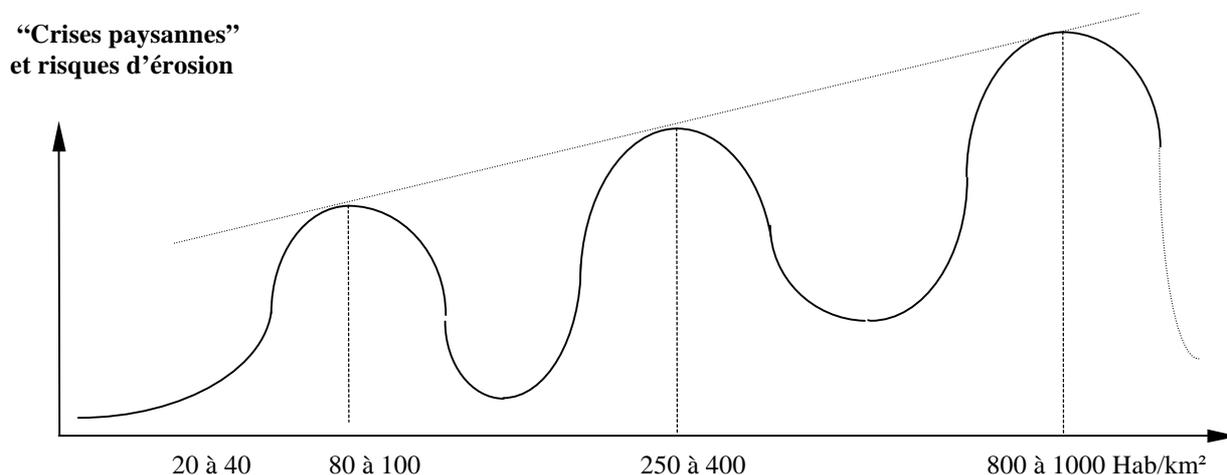
En l'absence de secteurs d'activités extra-agricoles qui absorbent le surplus du secteur primaire, il apparaît que seul l'accroissement de la productivité agricole est viable à condition de bâtir une activité économique à l'intérieur du monde rural en donnant les chances à tous de développer des activités secondaires (amélioration des infrastructures ; activités tertiaires organisant l'épargne et le crédit paysan, les

soins de santé, associations professionnelles, petites unités artisanales ou industrielles telles que les scieries, menuiseries, moulins, forges,...). Elles présenteront l'avantage de moderniser l'agriculture et de créer des opportunités extra-agricoles (HUBERT, 1990). Si au contraire, on bloque toutes tentatives de création et si on ne donne pas les moyens de mieux produire, la crise paysanne finira par voir réellement le jour.

2. Tendances évolutives entre la densité de population et les systèmes agraires au Burundi

La figure 2 qui suit, inspirée et modifiée de ROOSE (1994) et complétée des résultats des travaux coordonnés par COCHET (1993), est une interprétation des grandes tendances évolutives régionales en se basant sur l'équation population / ressource dans lequel le raisonnement agro-économique apparaît assez conforme au calcul théorique.

Figure 2 : Tendances évolutives entre la densité de population et les systèmes agraires au Burundi



Densité de population < 80 habitants /km ²	100 à 300	300 à 600	> 600 hab/km ²
REGIONS CONCERNEES			
Secteurs collinaires du BUYOGOMA MOSO BURAGANE	BURAGANE MOSO BUYOGOMA MUGAMBA SUD (et NORD) BUGESERA BUTUTSI BWERU MUMIRWA SUD IMBO	BUYENZI MUGAMBA NORD KIRIMIRO MUMIRWA CENTRE et NORD	MUMIRWA CENTRE (Bujumbura rural) BUYENZI (périphérie de Ngozi) KIRIMIRO (périphérie de Gitega)
SYSTEMES DE CULTURE			
<i>Cultures extensives sur brûlis sur de très grandes surfaces (> 2,5 ha)</i> Céréales, arachide, pois cajan et tubercules Caféieraie absente ou à faible effectif Pas ou peu d'agroforesterie	<i>Cultures extensives sur de moyennes à très grandes surfaces (> 1 ha)</i> Tubercules, céréales, arachide Associations simples Caféieraie de rente ou théieraie importante (effectifs 7) Petite surface bananière Microboisements Parcours pâturés	<i>Cultures intensives sur de petites surfaces (< 1 ha)</i> Cultures diversifiées Associations complexes et imbrication des cycles cultureux Maïs et sorgho (paillage) Bananaerie ou caféière de rente et agroforêts Maraîchage	<i>Culture intensives et Agroforêts sur jardin de case (< 0,5 ha)</i> Bananaerie dominante associée à un système vivrier dense Fruitiers Caféieraie ou maraîchage

SYSTEMES D'ELEVAGE

Absent ou petit élevage peu développé (parfois en gardiennage) Pâturage libre	Petit élevage extensif (gardiennage/pâturage libre) Gros troupeaux transhumants en saison (gardiennage communautaire) ou sur parcours extensifs journaliers. Stabulation nocturne	Petit bétail à l'étable ou au piquet Bovin (1 à 2 têtes) en stabulation semi-permanente sur parcours ½ journée	Petit bétail en stabulation permanente ou au piquet Abreuvement à l'étable
----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------

AGROFORESTERIE

Cueillette dans la savane (bois à usages domestiques) Défrichement accéléré avec réserves d'arbres isolés non concurrentiels	Défrichement et mise en culture progressive des prairies Boisements privés Haies fourragères et quelques champs fourragers (tripsacum)	Cueillette dans boisement communal + boisements privés Saturation de l'espace interstitiel en cultures fourragères et légumineuses Fruitières et agroforesterie diversifiée (quadrillage de l'exploitation) Ombrage des caféiers	Arbres fruitiers et haie de ceinture denses: jardin à trois étages Bananeraie agroforestière Pas/peu d'arbres à l'intérieur des parcelles vivrières sauf pour l'ombrage des caféiers
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

GESTION DE LA FERTILITE

Brève durée des rotations avec vivrier suivies d'une jachère de saison Jachère arbustive de longue durée (3 à 7 ans) Défriche - sarclage - brûlis Compostage inexistant	Augmentation des durées de cultures avec jachère saisonnière ou annuelle Fertilisation organique (jusqu'à 500 kg/are cultivé) Compostage et parfois adventices in situ Mulch (café) composé de graminées ligneuses (éragrostis ou hyparrhénia)	Cycles culturaux continus durant les deux saisons Courte jachère saisonnière Gestion équilibrée de la biomasse (aliments non conventionnels, fumier et compostage, adventices, mulch) Fertilisation en poquet avec techniques culturales améliorées NPK + chaux à titre expérimental (doses homéopathiques) Mulch (café) : déchets de bananiers et de céréales	Cultures continues en étage avec déchets jetés autour du rugo ou compostés Engrais NPK (rare) Gestion équilibrée de la biomasse (aliments non conventionnels, fumier et compostage, adventices, mulch) Mulch (café) : déchets de bananiers
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

VALEUR AJOUTEE année 93 / ACTIF / ARE (COCHET, 1991-1993)

VA/are/an = 100 à 200 Fbu VA/actif/an = 15 000 Fbu + salaires	VA/are/an = 200 à 500 Fbu VA/actif /an = 35 000 à 125 000 Fbu	VA/are/an = 1300 à 1800 Fbu VA/actif = 40 000 à 50 000 Fbu + salaires	VA/are/an = 1000 Fbu VA/actif = 10 à 15 000 Fbu + salaires Suivant situation financière : vente du capital productif
------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

REMARQUES PARTICULIERES

<u>REGIONS d'ACCUEIL</u>	<u>MIGRATIONS</u>
Migrants récents: recherche de travail journalier: faible surface cultivée, terrain restant majoritairement en friche SAU / actif > 40 ares Un actif travaille 60 ares de surface développée par an	SAU / actif = 10 (proximité ville) à 30 ares Un actif travaille 25-30 ares de surface développée par an

On y retrouve le phénomène des petites crises paysannes développées par HUBERT au cours desquelles les agriculteurs parviennent à adopter différentes innovations en fonction de l'évolution des contraintes exercées par la pression sur la terre. Il est indubitable que dans l'esprit des agriculteurs, tant qu'il y aura d'importantes réserves en terre (et de matières premières comme le bois), la notion de valeur, au sens économique du terme, a peu de signification puisqu'une terre (ou un matériau) peut se remplacer par une autre encore en friche. Lorsqu'il n'est plus possible de la remplacer à peu de frais voire même gratuitement, la notion de rareté amène à considérer la terre suivant une valeur vénale qui incitera l'agriculteur à conserver les ressources de fertilité dont il dispose et à intensifier son lopin de terre de plus en plus petit de façon à en tirer le maximum de bénéfice et à lui donner une plus-value foncière. Il se pourrait même, en raisonnant ainsi, que la valorisation agricole d'une région s'amplifie une fois que la totalité de ses réserves foncières soit épuisée.

Nous revenons ainsi sur l'idée que surpopulation ne signifie plus exploitation outrancière et destruction mais plutôt conservation et restauration de la fertilité par le fait que les familles consacrent de plus grands moyens de production (travail et technologies innovantes : fumure, semences, bétail) sur une plus petite unité de superficie en vue d'accroître le rendement et la rente.

Envisagé sous cet angle, on pourrait penser que la limitation de la libre disposition des terres vierges favoriserait le développement de l'agriculture intensive des terrains exploités en système extensif. Cela n'est guère concevable dans le contexte burundais car il est de plus en plus fréquent que des exploitants atteignent un seuil critique de viabilité et finissent par migrer vers des régions peu occupées. C'est le cas lorsque les méthodes d'intensification exigent tout un arsenal de productions supplémentaires, à la fois coûteux et rare (engrais, bétail amélioré, semences de qualité, cultures de rente) afin d'obtenir une valeur ajoutée /actif toujours de plus en plus élevée sur une SAU de plus en plus petite. Les études réalisées par l'INA P-G, le Projet de Recherche pour la Protection de l'Environnement de l'ISABU (PRPE), l'Atelier Régional du Buyenzi (DRION, 1992) et l'ICRA (BENDJEFFAL et al, 1993), ont montré que certaines catégories d'exploitation des régions densément peuplées, après avoir atteint la limite d'un potentiel travail-production, ont amorcé un processus de décapitalisation dans lequel, faute de moyens monétaires et de capital productif performant, elles perdent de manière irréversible leur capacité d'intensifier et d'innover dans l'agriculture. Leurs ressources sont alors de plus en plus dépendantes de l'extérieur.

De la même manière, nous observons depuis les années 80, l'explosion d'une catégorie d'exploitations qualifiée de rurbaines en périphérie des grandes villes au sein de laquelle l'agriculture est définitivement marginalisée au profit des activités rémunérées (cf. les profils 2b et 4 de la typologie de fonctionnement des exploitations des bassins versants de la Ntawangwa et de la Muha de la figure 3, DUCHAUFOR, 1993).

Cette catégorie de travailleurs salariés, encore très attachée à la terre, conserve leur rugo sur la colline avec femmes et enfants qui travaillent les quelques champs et gardent le maigre cheptel. Ces rurbains sont subordonnés à la stabilité du développement du secondaire et du tertiaire urbain. Ceux qui expriment le plus de difficultés à se maintenir dans un environnement de plus en plus hostile à l'agriculture, n'hésitent pas à partir s'installer définitivement sur d'autres terres vers le Bweru, le Moso et le Buyogoma. NDIMIRA (1991) avance le chiffre de 10 % de son échantillon des exploitations étudiées (région de Remera, Mugamba Nord, colline proche de Kayanza) qui aurait migré entre 1985 et 1990 vers le Nord-Est du pays. Curieusement, il poursuit en disant qu'il y a peu de chance que le processus s'accélère à moins d'imaginer des émigrations massives de populations orchestrées par les autorités politiques.

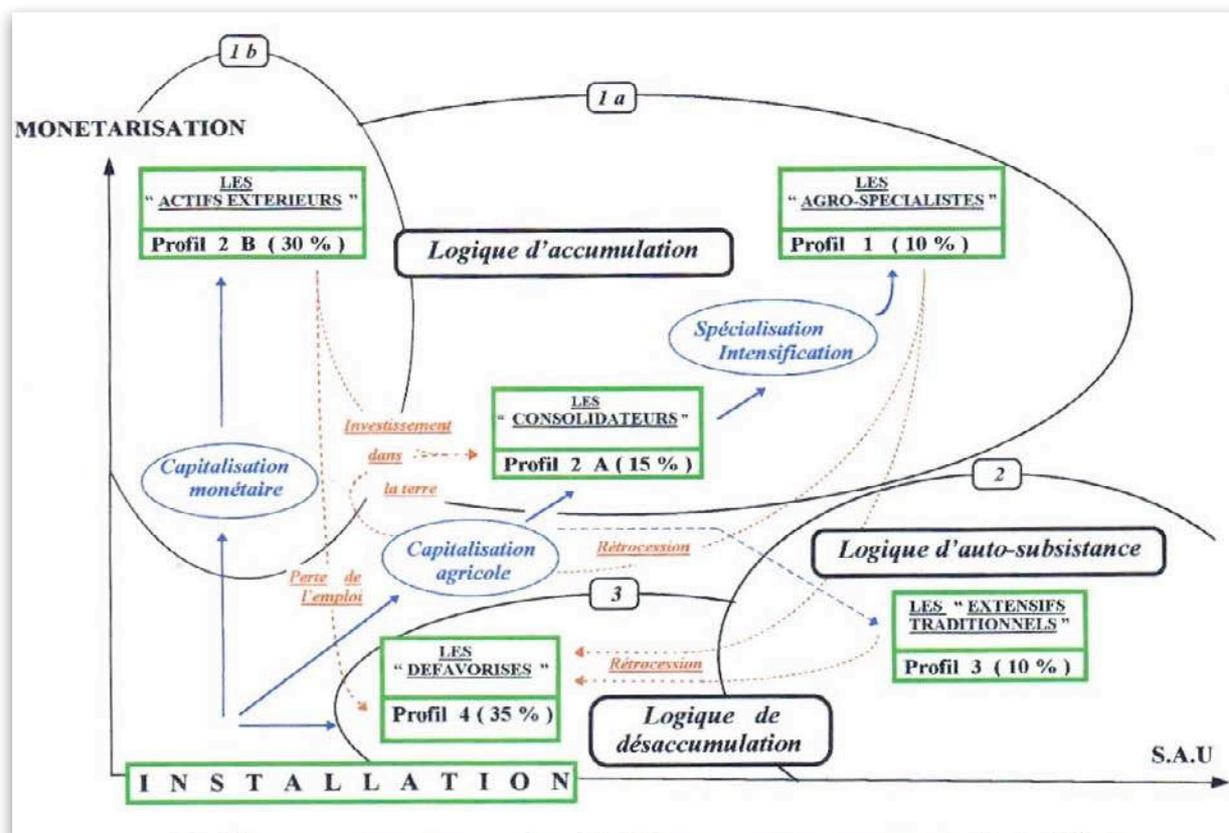


Figure 3 : Trajectoire d'évolution des exploitations des bassins versants de la Ntahangwa et de la Muha surplombant la capitale Bujumbura (DUCHAUFOR, 1993)

- 1 a : Stratégie d'accumulation avec injonction du capital dans l'agriculture (expansionnisme par appropriation foncière)
- 1b : Stratégie d'accumulation sans injonction de capital dans l'agriculture (spéculation et épargne monétaire destinées à l'amélioration de l'habitat et de la qualité de la vie)
- 2 : Stratégie d'autarcie (agriculture diversifiée pour la suffisance alimentaire)
- 3 : Stratégie de survie (dysfonctionnement ou instabilité du système d'exploitation agricole)

Conclusion

Pour l'instant, le monde rural est en pleine mutation mais la très faible efficacité des moyens de production locaux (crédits absents, engrais prohibitifs, conditions d'élevage délicates,...) apporte aucune amélioration tangible des systèmes de production et provoquerait même un recul du développement et une régression économique dans certains secteurs du pays. Le besoin de capital apparaît sous de nombreuses formes (capital foncier, cheptel vivant, besoins sociaux et alimentaires) et nécessite des financements multiples qui permettraient d'augmenter l'efficacité du travail des ménages par l'accroissement du profit individuel. Le développement et le perfectionnement de l'agriculture sont avant tout une énorme entreprise d'investissement qui à moyen terme doit répondre aux préoccupations micro-économiques des systèmes d'exploitation sans négliger sur le long terme le développement des autres secteurs d'activités qui influent sur les composantes socio-économiques et culturelles du milieu rural. HUBERT (1990) propose quelques actions à moyen terme qui répondent aux urgences du

développement rural et de mutations en cours : protection, restauration et mise en valeur du patrimoine foncier ; intensification de la production agricole par unité de surface (intrants, techniques culturales) ; développement du crédit-paysan ; politique globale de fertilisation (moyen et long terme) ; émigration accompagnée de remembrement ; encouragement des activités secondaires et tertiaires et organisation socio-professionnelle du monde rural.

Il est aujourd'hui impérieux de créer des marchés financiers durables décentralisés qui offrent des opportunités équitables aussi bien aux épargnants qu'aux emprunteurs et qui n'excluent aucune catégorie sociale. Parvenir à un système financier flexible, solidaire (DOLIGUEZ et al, 1993), adapté, diversifié et **replacé dans son environnement** pour mieux adapter les modalités (GENTIL, 1993, COLLIOT et al, 1993) c'est le pari du Burundi rural de demain. Le cadre de la recherche de solutions alternatives serait le moyen de relever le défi du renouvellement d'une politique sociale. Le point essentiel qui devrait être recherché est la pérennité du crédit-paysan tout en satisfaisant les plus démunis. Les possibilités d'épargne et de crédit devraient être définies au préalable sur le terrain en mettant en jeu les relations de confiance et d'influence (implication des *bashigantahe* : les notables qui s'expriment sur la sagesse et le sens des responsabilités) dans les relations, les décisions, les réglementations et les conflits internes, les garanties par pressions sociales, l'implication des bénéficiaires dans le montage, la définition du protocole et la gestion du système financier.

Bibliographie

- BARANTWARIRIJE C. & HABONIMANA B. 1992.** Contribution à la connaissance du fonctionnement des exploitations du Mumirwa central - Burundi. *FACAGRO et ISABU, Bujumbura.*
- BENDJEFFAL B., DIALLO A., DUCHAUFOUR H., LORMANN C., NGOUAKA F. 1993 :** Contribution au diagnostic des systèmes de production de la Province de MUYINGA (BURUNDI). Analyse de la problématique de la fertilité des terres. 95 pages + annexes. ICRA et ISABU Édit.
- BERGEN D. 1992.** Réflexion sur les spéculations motrices. ISABU. 15 pages.
- BERGEN D.W. 1988.** Influences de la densité de la population sur la taille de l'exploitation agricole et sur l'intensification de l'agriculture traditionnelle. Publication ISABU N° 121.
- BOURDERBALA N., 1993.** Appui à l'élaboration d'un code rural. *Rome, FAO, 42 p.*
- COCHET H. 1993.** Etude sur la dynamique des systèmes agraires au Burundi. *Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, ADEPRINA, Juin 1993. 200 p.*
- COCHET H. 1996.** Gestion paysanne de la biomasse et développement durable au Burundi. *Cahiers des Sciences Humaines, vol 32, n° 1, ORSTOM, 1996, pp . 133-151.*
- COCHET H. 2001.** Crise et révolutions agricoles au Burundi. INAPG - Karthala, 468 p.
- COCHET H. 2004.** Agrarian dynamics, population growth and resource management : the case of Burundi. *Geojournal. An international journal on human geography and Environment sciences N°60 : 111-122. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.*

- COLLIOT E. 1993.** Les interactions entre le marché des céréales, le marché du bétail et le marché financier (Nord Yatenga au Burkina Faso). Les Cahiers de la Recherche Développement. N°35:19 -35.
- DOLIGEZ F., FOURNIER Y., GENTIL D. 1993.** Le crédit solidaire en Guinée Conakry. Les Cahiers de la Recherche Développement. N°35:69 -82.
- DRION A. 1992a.** La méthode de visite d'exploitation agricole du « Rugo au Marais ». Fiche technique provisoire. ISABU, Bujumbura, Burundi.
- DRION A. 1992b.** La méthode de visite d'exploitation agricole du « Rugo au Marais ». Description de la méthode et résultats obtenus dans la région naturelle du Buyenzi. ISABU, Bujumbura, Burundi.
- DUCHAUFOUR H. 1993.** Stratégie de développement régional. Une approche spatiale de l'environnement rural des Bassins versants de la Ntakangwa et de Muha. *Montpellier, CIRAD-SAR n°52/93, 70 p.*
- DUCHAUFOUR H. 1995.** Le malaise social du Burundi rural : réalités historiques et actuelles de l'érosion. Programme de Recherche pour la Protection de l'Environnement, *Institut des Sciences Agronomiques du Burundi*, 184 p. + annexes
- GAHAMA J., 1983.** Le Burundi sous administration belge. *Paris, ACCT- Karthala - Cra, 465 p.*
- GOUROU P. 1953.** La densité de la population au Rwanda - Urundi. Esquisse d'une étude démographique, *Bruxelles, IRCB. 239 p.*
- GUICHAOUA G. 1989.** Destins paysans et politiques agraires en Afrique Centrale. *Tome 1 : L'ordre paysan des Hautes Terres Centrales du Burundi et du Rwanda. L'harmattan, Paris.*
- GUIZOL P. 1994.** Analyse d'un processus de décision. Reboisement et conservation des sols au Burundi. Le cas du projet de reboisement Banque Mondiale. 81 pages + annexes.
- HUBERT J.P. 1990.** Réflexion sur l'évolution des systèmes d'exploitation agricole au Burundi à partir d'une typologie des exploitations. *Tropicultura 8: 112-117.*
- ICRA. 1993.** Diagnostic des systèmes de production agricole de la province de Muyinga. Analyse de la fertilité des terres. 80 pages + annexes.
- ISABU - ICRAF. 1988.** Potentiels agroforestiers des systèmes d'utilisation des sols des hautes terres d'Afrique de l'Est à régime pluvial bimodal. *Burundi. Rapport AFRENA n°2 , 157 p.*
- ISABU.** Rapport annuel 1992-1993. Atelier régional de recherche du Buyenzi. 97 pages.
- NDAYIKENGURUKIYE G. 1993.** Les sites collinaires péri-urbains de la région des Mirwa. Bassins versants de la Ntakangwa et de la Nyabagere. Université du Burundi, Département de Géographie.
- NDIMIRA P.F. 1991.** Dynamique et problématique d'amélioration des systèmes d'exploitation agricole au Burundi. Cas de la région de Remera, *Université Catholique de Louvain, Faculté des Sciences Agronomiques, Louvain-La-Neuve.*
- NEVILLE A. 1992.** Diagnostic du système agraire du Buyenzi (Burundi). *Mémoire de D.A.A. Chaire d'Agriculture Comparée, INAPG.*
- POUPARD P. 1989.** La mise en place de bases de données agricoles. Quelques réflexions à partir de l'expérience du Burundi. *STATECO n°57, INSEE, Paris. pp 67-84.*
- RASSE E. SEXTON D. 1991.** Diagnostic du système agraire du Bututsi (Burundi), *Mémoire ISARA/INAPG.*
- ROOSE E. 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO 70. 420 pages.*

- RURIHAFI JM. 1993.** Essai de corrélation entre termes vernaculaires utilisés par les paysans avec la classification ISABU pour caractériser les sols. Bassin versant de la Muha et de la Ntahangwa - BURUNDI. *FACAGRO ET ISABU*. Bujumbura – Burundi.
- SIRVEN P. 1984.** La Sous-Urbanisation et les villes du Rwanda et du Burundi Thèse de doctorat d'Etat. Bordeaux, 786 p.
- TONDEUR. 1947.** La conservation du sol au Congo Belge. Royaume de Belgique. Ministère des Colonies. Publication de la Direction de l'Agriculture et de l'Elevage, BRUXELLES. *Bulletin agricole du Congo Belge. Vol. 38, n°2, pp.211 -314.*
- TONDEUR G. 1948.** Surpopulation et déplacement des populations. Conférence Africaine des Sols, Goma (Congo belge) 8-16 novembre 1948. p. 2325-2352.
- VERHAEGEN E., DEGAND J. D'HAESE L. 1991.** Amélioration des systèmes d'exploitation agricole traditionnels au Burundi. 92 pages + bibliographies.

Effets des crises politiques au Burundi sur les processus érosifs dans la région du Mirwa Central

par

Théodomir RISHIRUMUHIRWA

Adresse postale : courriel : agrobiotec2002@yahoo.fr

Résumé :

Le Burundi a traversé, de 1993 à 2005, une crise politique grave qui eu comme conséquence des massacres interethniques à répétition, des vols et pillages, un déplacement de populations et l'abandon des exploitations agricoles.

Cette crise a particulièrement touché la région du Mirwa Central (contreforts surplombant la ville de Bujumbura à l'Ouest du Burundi) en raison de la persistance des rébellions armées, très actives autour de la capitale. Elle a été à l'origine d'une crise érosive très grave avec de lourdes conséquences tant à l'amont (fortes pertes en terres dans les champs et les pistes rurales, érosions des berges et ravinement) qu'à l'aval (envasement des embouchures des rivières, inondations et destructions des infrastructures dans la plaine de l'Imbo et dans la ville de Bujumbura).

En effet, la région du MIRWA présente de très hauts risques d'érosion en raison de sa géomorphologie avec des pentes très escarpées (dépassant en moyenne 50 %), très longues (plusieurs centaines de mètres), une pluviosité abondante (plus de 1100 mm/an) et à fortes intensités, des sols fragiles exposés aux ravinements, aux glissements de terrains et aux pertes en terre très importantes.

Dans ce contexte, RISHIRUMUHIRWA (1997) a évalué les risques d'érosion sous cultures entre 3 et 978 tonnes de pertes en terre par hectare et par an, avec des indices C de l'équation de Wischmeier variant de 0,1 à 0,7 selon les systèmes d'exploitation.

D'autre part, DUCHAUFOR (1991) a montré que les systèmes agricoles à très fortes densité bananière, comme on les rencontrait avant la crise dans le Mirwa central, étaient particulièrement efficaces en gestion et conservation des sols avec des pertes en terre insignifiantes (0,1 t/ha/an) dans des bassins versants de pentes moyennes de 50% et plus.

Ces systèmes ont été laissés partiellement ou complètement à l'abandon pendant plusieurs années en raison des déplacements de populations avec comme conséquence, le manque d'entretien des cultures et la régression du couvert végétal. La réduction de ce manteau protecteur a livré les sols à une érosion intense (qu'on peut estimer à plus de 500 tonnes/ha/an avec un indice C voisin de 0,5).

Face à cette situation, les autorités politiques tentent de résoudre timidement les problèmes à l'aval pour protéger la ville de Bujumbura en aménageant, partiellement, les rivières qui la traversent. Une solution durable ne peut se concevoir sans un vaste programme de réhabilitation des bassins versants du Mirwa Central impliquant le retour à une paix durable, la réhabilitation des exploitations agricoles, le reboisement et une sensibilisation des communautés locales à une gestion durable des écosystèmes et des exploitations agricoles.

Mots clés : Erosion, changements climatiques, systèmes cultureux, déplacements de populations, réhabilitation

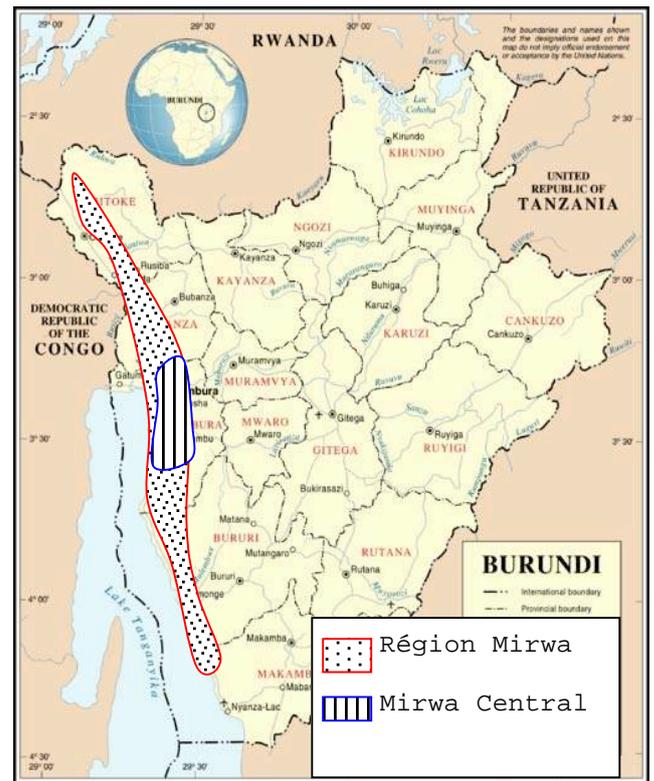
1. Le milieu physique

1.1. Géomorphologie

La région naturelle du Mirwa couvre les escarpements surplombant la plaine de la Ruzizi (Plaine de l'Imbo) et s'étendant à l'Ouest du Burundi sur une bande allant de la frontière rwandaise à une quarantaine de km au Sud de la ville de Bujumbura. Elle est limitée à l'Est par la crête Congo-Nil.

Le Mirwa central en occupe la partie centrale, forme un arc de cercle à l'Est de la ville et couvre la province administrative de Bujumbura Rurale.

Du point de vue géomorphologique, Le Mirwa central fait partie du système du grand Rift valley africain qui s'étend de la corne de l'Afrique au Sud du lac Malawi après avoir traversé l'Ethiopie, le Kenya, l'Ouganda, l'Est du Congo, le Rwanda, le Burundi, la Tanzanie et la Zambie.



Ce système se caractérise au niveau du Burundi par le fossé d'effondrement occupé par la plaine de la Ruzizi et le lac Tanganyika à l'Ouest.

La région du Mirwa dont la partie centrale est occupée par la zone étudiée, est formée par les escarpements qui surplombent cette plaine sur une bande large de +/- 20 km de large à l'Est avec des altitudes variant de 1100 au contact avec la plaine à 2000 m au niveau de la ligne de partage des bassins du Congo et du Nil. Cette région accuse des pentes généralement supérieures à 50% et pouvant dépasser 90% (RISHIRUMUHIRWA, 1997).

1.2. Climat, sols, population et végétation

Le climat de cette région est de type Aw4 aux altitudes inférieures vers la plaine et le lac Tanganyika pour tendre vers le Type Aw3 en altitude et Cw3 au contact de la crête Congo-Nil. Les températures moyennes y varient de 20° à 16° et les précipitations de +/- 1100 à 1800 mm par an en allant de l'Ouest vers l'Est.

Les sols les plus couramment rencontrés dans la région du Mirwa Central sont des sols récents tropicaux et des kaolisols, décrits comme des ferrisols et ferralsols (ISABU, 1990) à dominance argileuses, dérivés de schistes micacés s'érodant en rigoles et ravines. Les glissements de terrains y sont tout aussi fréquents que spectaculaires.

Sur le plan humain, la région du Mirwa central est une des plus peuplées du Burundi. Elle avait une densité de population comprise entre 400 et 590 habitants/km² selon le recensement générale de la population (1990). On peut l'extrapoler actuellement de 650 à 1000 habitants/km² si l'on tient compte du taux d'accroissement de la population qui double tous les 25 ans au Burundi.

Cette région était jadis occupée par une végétation naturelle forestière en prolongement des forêts de montagne caractéristiques des zones de hautes altitudes de la crête Congo-Nil. Le peuplement de cette région a vu cette végétation régresser et laisser place à des systèmes cultureux très complexes à forte dominance bananière surtout sur des sols à bonne fertilité.

2. Risques d'érosion

Les risques d'érosion ont été étudiés pour l'ensemble du Burundi (RISHIRUMUHIRWA, 1997) sur base des caractéristiques du climat (érosivité), de la nature des sols (érodibilité) de la longueur et du degré de pentes, des caractéristiques de la végétation naturelle et des systèmes cultureux. (USLE de Wischmeier et Smidt, 1978)

Selon cette étude, les risques sont modérés en plaines, inférieurs à 50 tonnes par ha et par an, mais augmentent considérablement avec les pentes, le climat, les sols et les systèmes cultureux.

Dans le cas de la région du Mirwa, il est apparu que l'indice climatique est parmi les plus élevés de ceux observés au Burundi avec une moyenne de 475 et une érodibilité des sols assez modérés (0,07 à 0,14) comme la plupart des sols du pays.

Le facteur pente, est sans conteste, le facteur explicatif de l'érosion le plus important dans le Mirwa, en général, et dans le Mirwa central en particulier. L'indice de pente atteint facilement 21 lorsque la déclivité dépasse 50% et la longueur des champs de l'ordre de 40 m.

La combinaison des différents facteurs montre que les risques d'érosion de la région du Mirwa peuvent atteindre 950 tonnes par ha sur des terres nues à très fortes et longues pentes. Cette étude confirme les résultats de l'ISABU (1990) qui ont démontré que l'agressivité des pluies varie de 400 à 650 avec une moyenne de 550 à Mwisare (Rushubi1), situé à 1750 m d'altitude et où les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1650 mm.

L'érodibilité observée dans la même station et région varie de 0,08 à 0,13 sur sols ferrallitiques développés sur schistes.

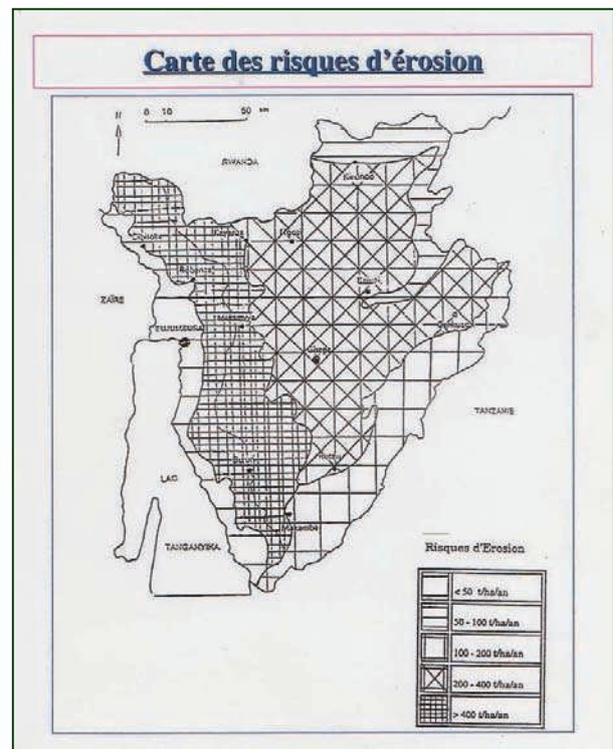
Il est apparu que dans ce contexte, la bonne résistance des sols à l'érosion est liée aux pratiques culturelles des agriculteurs très complexes où le bananier constitue un pivot des systèmes traditionnels d'exploitations.

3. Erosion des terres dans le Mirwa Central avant la Crise

L'étude de l'érosion dans le Mirwa central a été menée par l'ISABU aux stations de Rushubi 1 et 2 en commune d'Isale et en commune de Kanyosha.

Les objectifs poursuivis portaient notamment sur le fonctionnement hydrodynamique des sols des sites étudiés ; les mesures des pertes en terre et le ruissellement ; le développement des techniques de GCES adaptées à la région et assurant un meilleur fonctionnement des exploitations agricoles.

Les pertes en terre sur sol nu atteignent plusieurs centaines de tonnes par an avec des pics d'une centaine de tonnes/hectare pour une seule pluie à très forte érosivité.



L'importance de ces pertes en terre a été confirmée à la station Rushubi 2, située dans la même région mais à plus basse altitude où on a observé 4000 tonnes de terres perdues sur sol nu en 5 ans, soit une moyenne de 800 tonnes par hectare et an (ISABU, 1983).

3.1. Méthodes de lutte antiérosive et leur efficacité

3.1.1. Méthodes mécaniques

Les résultats obtenus ont confirmé l'efficacité des terrasses radicales. Leur mise en place nécessite une forte main-d'œuvre (500 à > 1000 h. jours), perturbe les horizons de surface dont la fertilité ne peut être maintenue que par un apport important de fumure organique. Dans le contexte du Mirwa central, ces terrasses présentent de forts risques de glissements de terrains surtout sur des matériaux schisteux, sur micaschistes ou gneiss très fréquents dans la région. Dans ce contexte, les terrasses progressives constituent une bonne alternative.

L'autre technique très courante, introduite déjà du temps colonial, est l'aménagement de fossés isohypses. Ces fossés doivent être associés aux bandes enherbées pour la production du fourrage. Une variante intéressante est de les utiliser comme "compostières" où on accumule des déchets végétaux avant d'y planter des cultures pérennes comme le bananier.

Les autres techniques pratiquées à petite échelle par les agriculteurs sont les lignes de pierres et des déchets de labours. Leur efficacité est très mitigée si les espaces entre les pierres ne sont pas colmatés. Il est dès lors conseillé d'utiliser les déchets de labour comme paillis.

3.1.2. Dispositifs biologiques

Les méthodes biologiques se révèlent bien plus intéressantes que les dispositifs mécaniques. Le reboisement avec des espèces produisant une litière abondante est particulièrement efficace même sur de fortes pentes (perte en terres d'une tonne/ha/an en première année et un ruissellement annuel moyen de 0,1 % d'après le rapport de la MFCZN, (1983). Dans la région du Mirwa, les espaces pour des reboisements en blocs font défaut en raison de l'exiguïté des exploitations. Des bandes de boisements et l'agroforesterie sont de bonnes alternatives qu'on rencontre chez les agriculteurs.

Les haies vives où l'on associe les graminées et arbustes légumineux, fixatrices d'azote freinent le ruissellement et les pertes en terres, fournissent du fourrages, des tuteurs pour les cultures volubiles et du bois de feu.

3.1.3. Bananeraies et autres cultures vivrières

La région du Mirwa est l'une des plus productrices de banane. L'importance de cette culture est particulièrement significative dans les sols fertiles (ferrisols humifères et anthropiques). Elle joue un rôle capital dans la gestion et la conservation des sols par l'importance des déchets organiques qu'elle produit (stipes et feuilles mortes). Ces déchets sont en partie laissés dans les bananeraies, jouant de ce fait le rôle de paillis dont l'efficacité a été confirmée et par l'ISABU (1992) et par RISHIRUMUHIRWA (1997). C'est l'une des cultures les plus intéressantes au regard des résultats résumés dans le tableau ci-après.

Type de végétation	Indice C
sol nu	1
Bananeraie + paillis abondant	0.001
Bananeraie + paillis en bandes	0.03-0.06
Bananeraie + paillis en couronne	0.1 - 0.2

Source: Rishirumuhirwa, T., 1997

Type de végétation	Indice C
sol nu	1
culture paillée/pinède	0.001
bananeraie	0.07-0.14
manioc traditionnel	0.10-0.16
patate douce traditionnelle	0.53
association haricot-maïs	0.62

Source: Rapport annuel ISABU 1989-1990

Ce tableau met clairement en évidence l'importance du bananier à côté des autres cultures dont l'efficacité est dépendante de l'espèce considérée, de la fertilité des sols et de la prévalence des maladies qui influent sur la production de biomasse susceptibles d'être mis à profit en gestion et conservation des sols.

4. Les bassins versants expérimentaux

L'ISABU (1992) a étudié les pertes en terre dans deux bassins versants expérimentaux, respectivement de 4,5 et de 6,5 ha, situés dans cette région. Les résultats montrent des pertes en terre inférieures à 100 kg/ha/an.

L'explication majeure de cette efficacité est attribuée aux pratiques agricoles des fermiers basées sur des associations complexes des cultures, à la redistribution des terres érodées qui finissent par être piégées dans les zones à forte occupation bananière.

Ces résultats tendent à démontrer que les cultures traditionnelles ont une efficacité variable. Les bananeraies semblent jouer un rôle de premier ordre dans le piégeage des sédiments et dans la conservation des sols.

Avant la crise de 1993, la gestion et la conservation des sols dans le Mirwa central étaient liées aux pratiques agricoles associant les cultures traditionnelles, les bananeraies l'agroforesterie et l'élevage. Si, au niveau des parcelles, des phénomènes d'érosion étaient observables et dépendantes de l'efficacité des systèmes d'exploitation mis en place par chaque ménage, la forte présence de bananeraies denses et des haies productrices de fourrage, réduisaient considérablement les pertes en terre au niveau des bassins versants.

5. La crise politique de 1993 et ses conséquences

5.1. Conséquences sociopolitiques

La crise politique a débuté en octobre 1993. Elle s'est caractérisée par des tueries à grande échelle que d'aucun ont assimilé à un génocide comparable à ce qui a prévalu au Rwanda en avril 1994. On a ensuite assisté à un déplacement des populations vers des camps de réfugiés à l'intérieur du Burundi ou à l'extérieur (exil).

Il s'en est suivi la constitution de bandes armées qui ont été particulièrement actives autour de la capitale en province de Bujumbura Rurale. Les confrontations régulières entre ces bandes et l'armée nationale ont été à l'origine de déplacements incessants des populations, aux pillages du bétail et des champs des agriculteurs, à la collecte d'impôts par l'administration légale (effort de guerre) et de l'administration parallèle.

Cette situation a été à l'origine d'un recul des activités champêtres, à la régression de l'élevage et des bananeraies mal entretenues. L'augmentation de la population est une autre cause aggravant l'érosion. Il a été mis en évidence que les toitures des maisons concentrent les eaux collectées sur le toit qui sont responsables de ravinements.

5.2. Conséquences sur l'érosion hydrique

5.2.1. Effets en amont

La déstructuration des exploitations, le recul de l'élevage, des cultures en général, et de la bananeraie, en particulier, ont conduit à une forte aggravation des phénomènes érosifs. Le contexte de guerre civile n'a pas permis d'en mesurer l'importance et d'en établir le bilan en amont. On a pu relever des effets tant au niveau de quelques champs que sur certains versants.

Photo 1 : Squelettisation du sol après disparition couvert végétal dans le Mirwa



Le déplacement des populations conduit à l'abandon des exploitations qui sont peu ou pas entretenues. Il s'en suit une forte érosion qui met à nu les rochers.

Photo 2 : Glissement de terrains



Les zones qui sont restées relativement calmes et où les exploitations sont encore bien tenues (bonne couverture végétale et bonne occupation par les cultures), on observe les phénomènes classiques caractéristiques de cette région comme les glissements de terrains.

Photo 3 : Erosion liée aux mauvaises pratiques culturales



En plus de l'érosion aratoire liée au déplacement des terres vers l'aval par le labour, on observe une érosion à la limite des parcelles. Le brûlis des mauvaises herbes détruit les déchets organiques dont le rôle protecteur antiérosif n'est plus à démontrer.

5.2.2. Effets à l'aval

Les effets observés à l'aval des champs sont multiples et portent surtout atteinte aux infrastructures et à la qualité de l'eau. Les principaux sont :

- 1° L'envasement du port de Bujumbura dont le dragage sera financé par la Belgique ;
- 2° Les inondations dans la plaine de la Ruzizi et dans la ville de Bujumbura ;
- 3° Les fortes crues des rivières qui traversent la capitale ;
- 4° Les risques de destruction des infrastructures (ponts, bâtiments).

Photo 4 : Rue inondée du centre ville de Bujumbura après une averse



Ces inondations sont encore plus spectaculaires vers le lac. Le quartier du port qui abrite les principales industries est régulièrement sous-eaux, parfois pendant plusieurs heures/jours après une forte pluie. Il en va de même de la route vers l'aéroport et d'une partie de la plaine de la Ruzizi inondée après de fortes averses.

Photo 5 : Inondations dans la plaine de la Ruzizi



Ces inondations deviennent de plus en plus graves et fréquentes. Les environs de l'aéroport sur la route Bujumbura – Cibitoke restent parfois inondés pendant plusieurs jours, voire des semaines.

3° Fortes crues des rivières

Les inondations observées en plaines traduisent un coefficient de ruissellement très élevé dans les bassins versants s'accompagnant de fortes crues des rivières qui les drainent comme le montrent les photos 6 et 7.

Photos 6 : Crue de la rivière Muha vers l'avenue



Photo 7 : Crue de la Muha en aval du pont sur la route Rumonge



Les crues des rivières s'accompagnent de fortes érosions des berges qui peuvent être spectaculaires.

4° les destructions des infrastructures (ponts, bâtiments).

Plusieurs bâtiments ont été construits le long des rivières qui traversent la ville comme la Ntahangwa au Nord, la Muha à la lisière Sud du centre ville et la Kanyosha au Sud de la ville. Avec l'aggravation des phénomènes érosifs, les berges s'érodent rapidement, les glissements de terrains deviennent fréquents et menacent les bâtiments et les ponts.

C'est notamment le cas du Lycée Clarté N.D. de Bujumbura, construit vers les années 1960. Cette école menace de s'effondrer suite à l'érosion des berges et aux glissements de terrains, très actives ces 10 dernières années, comme le montre la Photo 8.

Photo 8 : Bâtiments menacés d'effondrement – Lycée Clarté N.D. de Bujumbura



Photo 9 : Bâtiment en cours de construction au dessus du ravin de la Ntahangwa menacé par un glissement de terrain



Les crues des rivières s'accompagnent régulièrement de fortes érosions des lits et des berges déplaçant d'importantes quantités de terre charriée vers le lac. La Photo 10 montre le décapage du lit de la Muha lors d'une averse exceptionnelle. Ce phénomène s'accompagne d'un affouillement des bases des ponts et de la destruction des ouvrages d'aménagement comme les barrages en gabions (photo 11).

Photo 10 : Erosion du lit de la rivière Muha lors d'une pluie exceptionnelle



Photo 11 : Affouillement des bas-côtés des ponts lors de la même pluie



5. Conclusions et recommandations :

Le Mumirwa est sans conteste, l'une des régions du Burundi à très haut risque d'érosion (pentes, climat et sols). Elle a été longtemps protégée par sa végétation naturelle et des systèmes d'exploitation très complexes à très forte densité bananière.

La destruction partielle ou totale des végétations naturelles et des boisements artificiels par une exploitation incontrôlée ainsi que la déstabilisation des systèmes d'exploitation ont aggravé les processus érosifs avec des effets graves sur le fonctionnement des BV et des rivières qui les traversent.

En aval, les inondations et la menace sur les infrastructures se sont considérablement accrues. Les mesures prises pour y faire face sont incomplètes, mal orientées et surtout inefficaces. Elles négligent ou ignorent les causes qui se situent surtout en amont et ne s'occupent que partiellement des conséquences à l'aval.

Cette approche ne résout que ponctuellement les problèmes d'inondation et de manière très limitée dans le temps.

Il est urgent de réorienter les approches de GCES de cette région en s'attaquant aux vrais problèmes et aux causes qui se situent à l'amont sur les versants. Cette approche passe impérativement par la réhabilitation des systèmes traditionnels d'exploitation, par le reboisement des berges et des pentes trop fortes et par une approche de gestion durable des écosystèmes. Ceci ne sera possible que dans le cadre d'une stabilité politique durable et une implication plus importante des pouvoirs publics en charge de l'agriculture.

C'est la seule approche qui permettra de relancer l'agriculture tout en réduisant la pauvreté pour le bien des populations paysannes des zones, des collines et des citadins qui sont à l'aval et qui en subissent les conséquences.

BIBLIOGRAPHIE

- BIZIMANA M., DUCHAUFOR H., MIKOKORO C., 1992. : Les acquis de la recherche à l'ISABU en matière de protection et de restauration des sols
- DUCHAUFOR H. et PARTY J.P., 1988 : Etude de la conservation des eaux et des sols dans le Mumirwa. Cas de deux bassins versants en Commune Isale. Mission d'Appui technique à l'ISABU.
- LASCOUX D.M., BITOKI O. et BIZIMANA M. : Lutte contre l'érosion : Synthèse des essais après la campagne 1985. Bujumbura. 30 p.
- MFCZN, 1984 : Rapport annuel 1983.
- I.S.A.BU, 1991, Département des études du milieu et des systèmes de production. Programme Agroforesterie Sylviculture et Erosion : Rapport annuel 1989-1990, partie érosion.
- I.S.A.BU, 1989 : Rapport des Recherches Agronomiques 1988-1989.
- I.S.A.BU, 1987 : Rapport des recherches agronomiques 1987.
- RISHIRUMUHIRWA, T., 1992 : Ruissellement et érosion sous bananier au Burundi, in Bulletin Réseau Erosion n° 12.
- RISHIRUMUHIRWA, T., 1993. : Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation des sols ferrallitiques du Burundi. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 28, 2 : 367 - 383.
- RISHIRUMUHIRWA, T., 1993. - Contribution des résidus du bananier en conservation de l'eau et du sol.- *Bul. Réseau Erosion* n° 13, IRD, Montpellier, 63 - 70.
- RISHIRUMUHIRWA, T., 1997 : Rôle du bananier dans le fonctionnement des exploitations agricoles sur les hauts plateaux de l'Afrique orientale (application au cas de la région du Kirimiro – Burundi). Thèse n°1636, EPFL, Lausanne, 302 p.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. 1978. : Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA, Agriculture handbook n° 537, 58 p.

Notion de transfert Ville-Campagne à Port-au-Prince (Haïti) : en quoi la ville peut-elle apporter une valeur ajoutée pour la campagne par la gestion de ses déchets organiques et la campagne vers la ville par la production de produits alimentaires ?

FERNANDES J-C. (†)^{1,3}, JEAN DENIS S.², EMMANUEL E.¹, LACOUR J.
DUCHAUFOUR H.², VERMANDE P.³ et BAYARD, R.^{3*}

¹ LAQUE - Laboratoire de Qualité de l'Eau et de l'Environnement. Université Quisqueya
BP796 Port-au-Prince, Haïti : evemm1@yahoo.fr

²Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV)
Route Nationale # 1, Damien, BP 1441 - Port-au-Prince, Haïti
herve.duchaufour@wanadoo.fr, allosardou@yahoo.fr

³LGCIE - Laboratoire de Génie Civile et d'Ingénierie Environnementale, Institut National des Sciences
Appliquées. Université de Lyon – BP 69621 Villeurbanne, France
paul.vermande@insa-lyon.fr ...remy.bayard@insa-lyon.fr

* Correspondant

Résumé : Depuis de nombreuses années, la communauté urbaine de Port-au-Prince doit faire face à la gestion des déchets ménagers produits par ses 2.2 millions d'habitants. Malgré les efforts des institutions nationales et internationales, aucune solution pérenne n'a pu être proposée pour résoudre les nombreuses difficultés rencontrées : taux de collecte rarement performant, décharge non contrôlée, création de dépôts sauvages, obstruction des canalisations impliquant inondations et risques sanitaires élevés, peu d'intervention dans les zones « bidonvillisées ». Or, compte tenu des caractéristiques physico-chimiques des déchets produits (faible teneur en produits compressibles, masse volumique très élevée, matières organiques (60 %) et humidité des déchets (de 60 à 80 %) très élevées, PCI faible), le compostage constituerait a priori une solution adéquate. Ce compost peu utilisable en zone urbaine pourrait être transféré dans les agro-systèmes maraîchers périurbains de montagne distants de quelques dizaines de kilomètre de Port-au-Prince. Il s'agit donc d'établir des modèles socio-économiques de transférabilité ville/campagne en utilisant les déchets organiques produits en zone urbaine, de les transformer puis de les valoriser dans une zone rurale proche des sites de compostage. La meilleure fertilité des terres se traduira par un accroissement de la productivité par unité de surface et par individu et par une consommation des produits, au final, dans la ville.

Mots clés : Haïti, déchets ménagers, inondations, compostage, valorisation.

Abstract : Among all the problems the urban area of Port-au-Prince has to face, the management of the wastes produced by more than 2.2 million Haitians living in the capital appears as one of the biggest and most complicated one for which no one - local or international institutions - seem to have a clear solution (low waste collecting rate, non controlled landfill, creation of non authorised waste deposits in the city, canalisation obstructions implying floods and high sanitation risks, few intervention in slams). However, according to physical and chemical characteristics of the wastes produced in the capital (high percentage of organic matter (around 60%), high humidity (between 60 & 80%), low percentage of compressible wastes), using compost processes appears as an adequate solution. The compost produced, hardly usable in urban areas, could be transferred to agricultural systems close to the city. Therefore, socio-economical models for the transferability « city → countryside » can be settled using the organic wastes produced in urban areas, converted into compost and finally used in rural areas close to the compost plants. The better fertility of the ground will be accompanied with a better productivity per surface unity and per peasant for a final consumption of the products in the city.

Key words : Haïti, household wastes, flooding, compost, valorisation

Préambule

Cet article est issu du travail de Sardou Jean-Denis dans le cadre de son Projet de Fin d'Études de cycle d'ingénieur agronome de la FAMV et de Jean-Christophe Fernandes, dans le cadre de son doctorat en cotutelle (LGCIE. INSA-Université de Lyon & LAQUE - Laboratoire de Qualité des Eaux et Environnement de l'Université Quisqueya). Le programme de thèse portait sur le développement de la collecte, le traitement et la valorisation des déchets dans les quartiers pauvres de Cité-Soleil avec pour objectif scientifique de définir les conditions de mise en place et de développement de structures artisanales pérennes de valorisation des déchets ménagers d'un quartier défavorisé. Jean-Christophe Fernandes est décédé lors du séisme survenu le 12 janvier 2010.

1- Introduction

Depuis les années 1950, Haïti souffre d'une dégradation accélérée de ses sols et de ses ressources naturelles. Cette dégradation de l'espace rural s'exprime essentiellement par une baisse de la fertilité et par l'accélération des pertes en sol dues en partie aux facteurs du milieu naturellement fragiles : d'une part 60% des terres cultivées sont situées en montagne sur des pentes très fortes (de 20 à 80%), d'autre part le régime violent des pluies favorise le ruissellement (Smolikowski, 1993).

La dégradation des sols est également le bilan négatif d'une mise en culture de plus en plus rapprochée, impliquant des temps de jachère de moins en moins importants et, en conséquence, des situations de surexploitation agricole.

Cette mauvaise gestion des ressources naturelles a pour effet la baisse de rendement des terres cultivées et donc des revenus agricoles. Démunis, les paysans se tournent vers des activités plus rémunératrices telles que la production de charbon de bois, impliquant un déboisement anarchique et une pression encore plus forte sur les ressources naturelles.

Les campagnes doivent ainsi faire face à des problèmes de malnutrition, de baisse des exportations (les produits locaux souffrant des importations « bon marché » en provenance des pays voisins), d'exode rural très important, d'incapacité des familles à épargner, de pression foncière due à une démographie trop élevée, de revenus agricoles très faibles empêchant le renouvellement du capital animal et outil. Ce cycle de décapitalisation s'exprime par une perte de cohésion sociale d'où résulte souvent une attitude de survie de la part des paysans.

Par ailleurs, la mauvaise gestion des surfaces agricoles et la déforestation des espaces naturels ont conduit à l'érosion des terres cultivables (Smolikowski, 1993). Malgré les recherches sur cette problématique, force est de constater la faiblesse des résultats en terme de lutte antiérosive, d'amélioration des rendements et du revenu agricole à court terme. Ainsi, face à une telle situation d'échec et à une population qui ne cesse d'augmenter, la recherche d'outils pour la défense et la restauration de la fertilité des sols doit nécessairement se tourner vers l'amélioration de la productivité des sols par l'utilisation de techniques agricoles et d'élevage durables.

Dans ce sens, l'utilisation de composts en milieu rural pourrait constituer une solution pour lutter contre l'appauvrissement des sols haïtiens. Outre l'amélioration de la nature physico-chimique des sols de montagne (sols calco-magnésiens et sols fersiallitiques) par l'augmentation de la réserve en nutriments, le compost améliore la structure de l'horizon de surface en contribuant à la génération d'humus participant ainsi à sa stabilité structurale. Or, en conditions de pluies cycloniques et d'orages aux agressivités

exceptionnelles, ces sols de montagne sont soumis à une dégradation accélérée. La déstructuration de la surface croît au fur et à mesure de la dégradation des agents de liaison de la microstructure argilo-humique des sols (Duchaufour. Ph. ABREGÉ DE PEDOLOGIE. Sol, végétation, environnement, 5ème édition 1997). Nous pouvons supposer que l'amincissement de la couche d'humus souvent constaté en zone de montagne et le déséquilibre du complexe humo-calcique affectent les propriétés organo-minérales de ces sols au fil des années ce qui les fragilise de plus en plus à l'érosion et au lessivage des éléments nutritifs.

Au delà de ces avantages agro et éco-pédologiques, les techniques de compostage permettent la valorisation d'un excédant de matière organique produite par les ménages mais aussi par les marchés des grandes villes, et notamment de Port-au-Prince. Peu utilisable en zone urbaine, le compost pourrait être transféré dans les agro-systèmes maraîchers périurbains de montagne distants de quelques dizaines de kilomètres de Port-au-Prince.

Il s'agit donc d'établir un modèle socio-économique de transférabilité ville/campagne en utilisant les déchets organiques produits en zone urbaine, de les transformer en compost puis de les valoriser dans une zone rurale proche des sites de traitement des déchets. La meilleure fertilité des terres se traduira par un accroissement de la productivité par unité de surface et par individu et par une consommation des produits, au final, dans la ville.

Ainsi, une nouvelle approche s'appuyant sur des logiques de développement rural visant à résoudre les problèmes immédiats des populations (sécurité alimentaire, améliorations des revenus, valorisation du travail) doit être développée à travers une meilleure gestion des déchets en zone urbaine et une utilisation de techniques adaptées au contexte haïtien.

2- Matériels et méthodes

2.1- Zones d'études

La communauté urbaine de Port-au-Prince se trouve face à la difficulté de collecter et traiter les déchets ménagers produits par une population estimée à 2 164 000 habitants en 2009. Le taux d'accroissement de la population a été récemment à environ 2% chaque année (Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique, 2009) et la production journalière de déchets ménagers a été estimée à $0,83 \text{ kg.hab.}^{-1}.\text{jour}^{-1}$ (Bras, 2009).

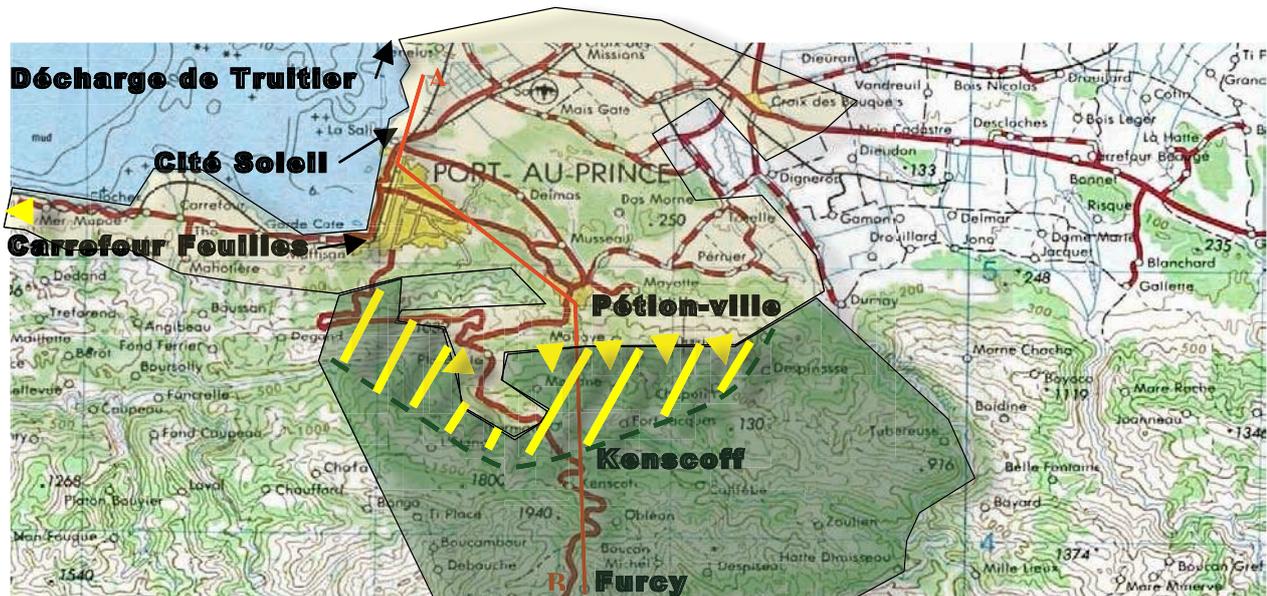
Le taux de collecte des déchets est rarement performant, si ce n'est dans certains quartiers privilégiés (centres commerciaux, zones touristiques, quartiers résidentiels de haut standing). Il varie généralement de 30% à 40% (Bras, 2009), mais il peut-être beaucoup plus faible, voire nul, dans certains quartiers précaires. Parmi ces déchets, approximativement $1\ 000 \text{ m}^3$ arrivent quotidiennement sur le site de Truitier, décharge non contrôlée proche de la mer et entourée de bidonvilles (*cf.* Figure 1).

Compte tenu de l'évolution de la consommation, partiellement conditionnée par la proximité des États-Unis et de ses produits, il est prévisible que la production annuelle globale des déchets dépasse en 2016 les 5 millions de tonnes (Samper *et al.*, 2006).

2.1.1- Les quartiers cibles

Deux plateformes expérimentales de compostage artisanale ont été mises en place au cours de l'année 2009. Les plateformes sont situées dans deux quartiers précaires de la

capitale haïtienne : Cité Soleil (quartier de Bois Neuf, comptant environ 10 000 habitants) et Carrefour Feuilles (cf. Figure 1). Elles sont équipées d'une ligne de compostage et de dispositifs de tri pour la séparation des déchets non putrescibles en vue de la valorisation matière des différentes fractions.



- Légende :
-  Extension de l'agglomération urbaine de Port-au-Prince
 -  Zone maraîchère périurbaine des hauts de Pétion-ville et de Ferme - Thomassin
 -  Zone maraîchère de Kenscoff – Furcy (zone de l'étude du transfert de fertilité ville campagne)
 -  Zone d'expansion de l'agglomération de Port-au-Prince
 - A – B** : Transect de Port-au-Prince à Furcy (figure 2)

Figure 1 : Situation géographique des quartiers cibles.

Le quartier de Carrefour Feuilles, réputé pour être une zone de tension sociale, est présentement en voie d'apaisement mais la sécurité de la zone demeure fragile. Le PNUD a en conséquence mis sur pied le projet pilote « *Gestion des déchets solides Carrefour Feuilles* » dont l'objectif est de contribuer à la consolidation du processus de réduction de la pauvreté à travers la création d'emplois, la préservation de l'environnement et le tissage de liens sociaux dans le quartier. Le site traite chaque jour 40 m³ de déchets collectés dans les rues du bidonville par des équipes de balayage et de ramassage employées par le PNUD.

Cité Soleil, véritable « ville bidonville », comptant parmi les quartiers les plus peuplés et les plus denses au monde (presque 40 000 habitants/km²), a connu de longues périodes de violences. Le retour au calme depuis le début de l'année 2007 a permis l'intervention conjointe de la Police Nationale Haïtienne (PNH) et de la Mission des Nations Unies pour la Stabilité d'Haïti (Minustah). Ce retour de l'ordre s'accompagne d'actions visant à redonner confiance aux populations vis-à-vis des pouvoirs publics et à améliorer leur cadre de vie. Le projet de valorisation des déchets a été mis en place en collaboration avec une association locale. L'unité expérimentale, en fonctionnement de juin 2009 au 12 janvier 2010, a permis de traiter quotidiennement 5 tonnes de déchets collectés par les services de ramassage de la ville de Cité Soleil.

2.1.2- Transfert Ville-Campagne

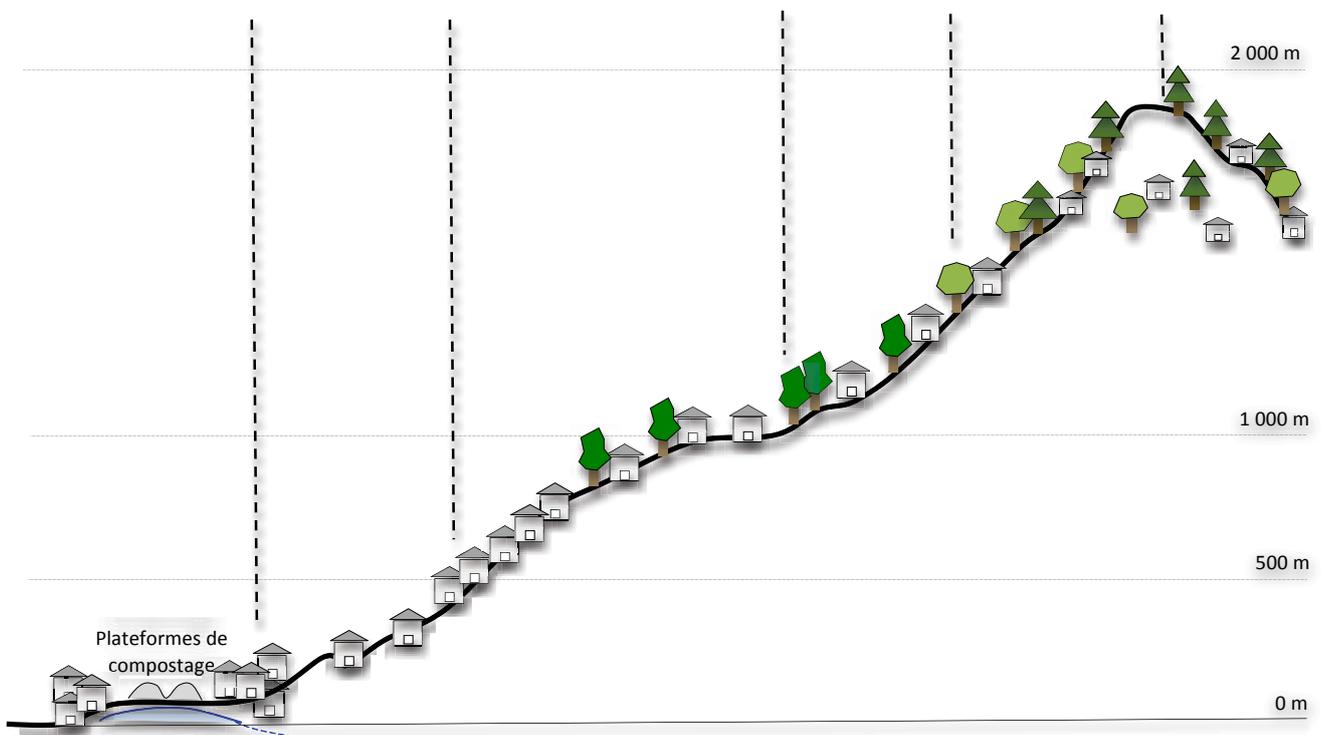
Dans le cadre de l'étude du transfert ville-campagne, la diversité des systèmes agraires a

été étudiée depuis les unités de compostage installées dans les quartiers précaires proches du niveau de la mer (Cité Soleil) jusqu'aux zones de maraîchage de montagne périurbaine des hauts de Pétiion-ville (1 000 m d'altitude) et de Kenscoff et Furcy (1 400 - 1800 m d'altitude) (cf. Figures 1 et 2).

La toposéquence de la figure 2 (transect A-B) résume les caractéristiques géo-pédologiques et agro-écologiques du transect Port au Prince jusqu'à Kenscoff Furcy où sont concentrées les cultures légumières. Elle fait apparaître une grande diversité des milieux naturels, des systèmes de production et de l'occupation des sols. Cette diversité résulte de l'interaction de plusieurs facteurs dont les plus importants sont le gradient climatique lié à l'altitude, la pression foncière inégale selon les zones et liée à l'expansion de la ville vers les zones de montagnes périphériques, la disponibilité en main d'œuvre et en capital-bétail, la nature des matériaux géologiques et des sols en place et la topographie.

N° #d → S' d

U) *+-	U) *+ .			U) *+ /	
A2 C*+ S" 4e*4 Carrefour Feuilles	Bd. Delmas	Pétiion-ville	Fermathe Thomassin	Kenscoff	Furcy (B)



Unités	Plaine du cul de sac Ville de Port au Prince	Piémont urbain de Pétiion-ville	Piémont rurain de Fermathe – Thomassin	« Morne » de Kenscoff – Furcy
Précipitation / Saison sèche	800 à 1 400 mm / 6 mois de saison sèche	1 100 à 1 400 mm / 5 mois de saison sèche	1 300 à 1 600 mm / 4 -5 mois de saison sèche	1 500 à 2 400 mm / < 4 mois de saison sèche

Géologie	- Alluvions → aquifère de plaine : nappe superficielle saumâtre (1-3 m). - Cône d'épandage et éboulis de pente - Biomicrite sur le contrefort piémontais	- Eboulis de pente Eocène supérieur et moyen : - Biomicrite pélagique parfois conglomératique	Paléocène : - Calcaire de plateforme fortement karstifié (lapiaz et petites dolines) - Calcaire pélagique	Série volcano sédimentaire du paléocène : basalte tholéitique intercalé avec des calcaires de plateforme et des calcaires détritiques
Facès morpho-pédologiques	- Complexes de sols colluvio-alluviaux + ou - vertiques à alcalis → caractère sodique de surface dans les zones de dépressions - Sols calco-magnésiens superficiels sur le contrefort du piémont	Complexe d'éboulis de pente, de rendzines et de sols calco-magnésiens régosoliques		Complexe de sols fersiallitiques fortement rubéfiés et de sols bruns rajeunis par l'érosion développés sur basalte et de sols calco-magnésiens superficiels ou régosoliques avec parfois horizon rubéfié en situation de replat (→ remplissage intrakarstique)
Occupation du sol	Zone fortement bidonvillisée juxtaposée à des terrains agricoles privés en plaine (cultivés ou en jachère)	Zone fortement urbanisée. Agriculture peu dense sur les hauteurs de Pétion-ville (700 -1 000 m)	Zone urbanisée juxtaposée à une agriculture rurale et à un petit élevage (mitage progressif)	- Village rural de montagne avec habitat dispersé (« cayes ») - Agriculture et élevage de montagne (morne)
Système d'exploitation dominant	En plaine : Maïs, gombo, pois congo, canne à sucre, patates douces, bananes	- Jardins d'agrément avec arbres fruitiers - Potager (maïs, haricot, manioc et rares bananiers) - Système agroforestier peu dense en voie de disparition	- Monocultures légumières de rente irriguées en conduite intensive (cultures de plein champs et hydroponique avec une forte utilisation d'engrais minéraux et de traitements phytosanitaires) : laitue, cresson, choux, carotte, oignon, pomme de terre, poireau, ... - Cultures vivrières de subsistance : haricot, mil, ... + café + élevage - Couvert agroforestier (jardin de cayes). - Couvert forestier en forte régression (coupe des Pinus occidentalis)	
Potentialité du compost et autres produits dérivés	- Horticulture et culture légumière urbaine en conteneur (« jardins pneu ») - Objectif pour les terrains agricoles de plaine : Détoxification de la salinité des sols sodiques par des apports réguliers de compost et un système de drainage-irrigation soutenu	- Horticulture / floriculture et cultures légumières urbaines en conteneur (« jardins pneu ») - Compostage classique des jardins potagers	Développement de l'horticulture, floriculture et maraîchage agrobiologique (→ objectif : pallier progressivement à l'usage intensif des engrais minéraux) - Introduction et test de la technique du Bois Raméal Fragmenté (BRF) en utilisant les résidus de la canne à sucre broyée (bagasse de l'usine de Barbancourt) ou déchets des scieries de Port au Prince	

Figure 2 : Toposéquence agroécologique schématique « Port au Prince - Kenscoff - Furcy ».

2.2- Identification des pratiques de rejet et jeu d'acteurs

L'étude de l'identification et de la caractérisation des différents problèmes posés par la gestion des déchets solides à Port-au-Prince s'est principalement focalisée sur la compréhension du système des acteurs institutionnels et de leurs actions, sur l'observation des pratiques de rejet des ménages dans les quartiers précaires et sur la complexité du fonctionnement des services d'assainissement (publics, privés, informels, organisations internationales...). Les résultats ont été obtenus à partir d'entretiens auprès des institutions étatiques du pays, des organisations internationales, des bailleurs de fonds et des opérateurs privés. Ils ont également été complétés par l'observation directe dans les quartiers ciblés, des pratiques de rejet et par une enquête par questionnaire auprès de 200 ménages dans le quartier de Bois-Neuf à Cité-Soleil. Ainsi, plusieurs entretiens collectifs ont eu lieu avec les personnels des structures de santé, éducatives, politiques, religieuses, paysannes ; collectifs, associations locales, individuels et « chiffonniers » des quartiers cibles afin d'apprécier l'écho des discours officiels dans les quartiers pauvres, l'importance des croyances populaires et la réalité du terrain.

2.3- Caractérisation des déchets dans les quartiers cibles

Les déchets ménagers solides d'une ville forment un mélange complexe de produits aux propriétés physico-chimiques différentes. Leur composition est variable et dépend de la nature des produits de consommation, des habitudes, du niveau social de la population, et enfin, des caractéristiques de l'habitat et des infrastructures collectives. La connaissance de

la composition des déchets ménagers est essentielle pour la détermination des filières de traitement, valorisation et élimination telles que le compostage, la méthanisation, le recyclage et la mise en décharge.

2.3.1- Échantillonnage

La constitution de l'échantillon de déchets ménagers et assimilés arrivant quotidiennement sur le site de traitement de Carrefour-Feuilles a été réalisée en juillet 2009 selon la norme française NF X 30-413 (2006) conçue spécialement pour la préparation d'un échantillon partir d'une benne à ordures ménagères.

A Bois-Neuf, une cinquantaine de familles ont été sélectionnées pour réaliser la campagne d'échantillonnage en juillet 2009. Des sachets plastiques ont été distribués et les déchets collectés quotidiennement pendant une semaine. Chaque sachet a été pesé afin d'évaluer la quantité de déchets produits par habitant et par jour. Après une semaine, les déchets recueillis ont été caractérisés.

2.3.2- Analyse globale des déchets

L'analyse globale d'un gisement de déchets ménagers et assimilés consiste à déterminer sur l'échantillon représentatif :

- la part pondérale des catégories et des sous-catégories ;
- l'humidité globale, l'humidité par catégories et sous-catégories ;
- la densité apparente des déchets ;
- La détermination de la teneur en matière organique totale (MOT) de la fraction fermentescible.

La classification des déchets a été effectuée manuellement en plusieurs catégories à savoir : matière organique, plastiques souples, plastiques rigides, papiers/cartons, verres, métaux, textiles et divers selon la norme Française NF XP X30-408 (1996).

La détermination du taux d'humidité (%H) a été conduite conformément à la norme NF U 44-171 (1982). La densité apparente est calculée afin de déterminer l'évolution de la dégradation et le volume occupé par les déchets. Un seau de 10 L est pesé vide, puis rempli avec un échantillon. La valeur de la densité fournie est le rapport entre la masse de l'échantillon et le volume du seau. La Matière Organique Totale (MOT) a été mesurée expérimentalement par la perte au feu (uniquement sur la part fermentescible) selon la norme NF U 44-160 (1985).

2.4- Compostage et caractérisation des composts produits

La procédure de compostage a été développée sur la base des recommandations du CEFREPADE sur le compostage décentralisé dans les pays en voie de développement (CEFREPADE, 2008). Triée, la fraction organique des déchets collectés est mise en andains trapézoïdaux de longueur approximative de 9 mètres, de 3 mètres de largeur à la base et de 2 mètres de hauteur, correspondant à environ 3 jours d'activité dans chacun des deux centres. Les tas sont retournés chaque semaine, à la pelle, pendant le premier mois puis chaque mois jusqu'à obtenir un produit final, le compost. Le compost se caractérise visuellement par sa couleur noir foncé, l'absence d'odeurs, une température stable et voisine de la température extérieure.

Sur le site de Bois-Neuf, un lot de compost mûré d'environ 25 kg_{MH} a été échantillonné par quartages successifs sur un tas de compost après trois mois de traitement. Ce lot a

ensuite été de nouveau quarté afin de préparer plusieurs échantillons d'1 kg, représentatifs du compost mûri. Pour assurer leur bonne conservation, les échantillons ont été séchés au soleil pour réduire leur teneur en eau et minimiser leur potentielle évolution biologique au cours de leur transport jusqu'au laboratoire d'analyse en France. Plusieurs programmes d'analyse ont été proposés pour permettre d'évaluer les caractéristiques du compost. Il s'agit de l'analyse des qualités agronomiques, l'analyse des teneurs en éléments traces métalliques, la mise en évidence d'éléments indésirables tels que les éléments métalliques, le verre et les plastiques. Les analyses réalisées par le Centre Scientifique Agricole Régional, le CESAR, sont présentées dans le Tableau 1. Les résultats d'analyse seront comparés aux valeurs réglementaires de conformité des amendements organiques de la norme NFU 44-051 (2006) indiqués dans ce même tableau. Par ailleurs, l'analyse des agents pathogènes, œufs d'helminthes viables et salmonelles, a également été effectuée sur l'échantillon de compost réceptionné.

Tableau 1 : Analyse agronomique, éléments métalliques, inertes et impuretés du compost.

Valeur agronomique	Symboles et unités	Valeur limite (NF U44-051)
Matière Sèche	MS (% _{MB})	≥ 30% _{MB}
Matière Minérale	MM (% _{MS})	-
Matière Organique	MO (% _{MS}) et C = MO/2	≥ 20% _{MB}
Azote Total	N-tot (g.kg ⁻¹ _{MS})	> 1%

2.5- Diagnostic des systèmes agraires

Le diagnostic des systèmes agraires depuis la ville (Bois-Neuf à Cité-Soleil et Carrefour Feuilles jusqu'aux zones maraîchères d'altitude de Kenscoff, Fermathe et Furcy) s'est déroulé en trois phases :

- Réalisation d'un diagnostic du milieu : Cette première étape consiste à identifier les potentialités et contraintes du milieu physique, de déterminer ou d'apprécier les processus de dégradation de la fertilité des sols et d'identifier les techniques paysannes existantes en matière de gestion de la fertilité des sols. Ce diagnostic permet aussi de collecter avec précision les informations de l'historique des systèmes d'exploitation dans les mornes de Kenscoff et Furcy et de leur mode de fonctionnement : la SAU, les systèmes de production, les conduites culturales et d'élevage, le statut économique des familles paysannes, les modes de gestion de la main d'œuvre familiale, gestion de la biomasse produite (résidus de cultures, déchets de labour, fumure organique et déchets ménagers), les critères d'acceptation du compost par les exploitants en tant qu'amendement organique, les conditionnements nécessaires (étiquetage particulier) et prix de vente. Cette étude est en cours de réalisation et fait l'objet d'un travail de mémoire de fin d'étude d'ingénieur de la Faculté d'Agronomie de Port au Prince.
- Expérimentation en milieu réel : Une fois le diagnostic terminé, il s'agira de tester l'impact du compost sur divers systèmes sols de la zone d'étude. Dans un premier temps, les expérimentations porteront sur la mise en valeur des sols alluviaux de la plaine du Cul-de-Sac à proximité de la plateforme de compostage de Cité-Soleil. L'influence des apports répétés de compost sera mesurée afin de déterminer son impact sur la détoxification de la salinité (diminution de l'alcalinité de surface et des caractères sodiques en profondeur) et d'apprécier le bénéfice lié à ces améliorations sur la productivité de ces sols de plaine par la pratique d'un système d'irrigation-drainage adéquat. Dans un deuxième temps, les expérimentations porteront sur les sols pentus de montagne entre Fermathe et Furcy lesquels sont soumis à un régime d'exploitation intensive (forte fertilisation minérale des cultures légumières sans aucune restitution de matière organique), à une érosion hydrique importante (érosion en rigole et déstructuration des agrégats en surface fréquemment observées → pente atteignant 100% de déclivité) et à un lessivage des nutriments pour le cas des sols acides (sols fersiallitiques). Là encore, les effets bénéfiques du compost sur les propriétés biologiques, mécaniques et chimiques des sols seront mesurés sur des parcelles expérimentales paysannes représentatives des conditions agro-écologiques et édaphiques de la zone d'étude (cf. Figures 1 et 2).
- Évaluation des résultats par les paysans et les techniciens. Cette dernière étape permettra d'établir un référentiel technico-économique de transformation des déchets organiques produits à Port-au-Prince en vue de leur valorisation dans les zones maraîchères de montagne. L'analyse socio-économique et l'évaluation systémique de l'opération dans sa globalité seront des critères déterminants pour identifier le ou les modèles de transférabilité ville/campagne les plus appropriés. L'étude s'appuiera sur l'analyse de quelques critères - indicateurs clés comme la pénibilité des techniques proposées, le coût de revient de la transformation et du compost conditionné et transporté, les améliorations sur la restauration de la fertilité et la productivité des sols et une estimation de la plus value économique pour le paysan suite au compostage.

3- Résultats et discussion

3.1- Complexité du système de gestion des déchets à Port-au-Prince

Force est de constater une cacophonie autant de la part des autorités nationales que des opérateurs privés. Du fait de la défaillance du Service Métropolitain de Collecte des Résidus Urbains (SMCRS) et d'un urbanisme non maîtrisé (les quartiers précaires de la capitale occupent 75% des espaces bâtis de la région métropolitaine), l'ensemble du système repose sur un nombre significatif d'ONG. Un flou certain et de grandes interrogations entourent la coordination et la pérennité de ces initiatives ; il est impérieux de mettre en place un cadre général concernant la gestion des déchets pour Port-au-Prince.

Les pratiques et les usages des ménages ne sont pas uniformes sur l'ensemble de la ville de Port-au-Prince. Toutefois, le déversement des déchets dans les ravines constitue, quelque soit le milieu urbain, un exutoire des déchets ménagers variant de 25% dans les quartiers de standing élevés à 90% pour les quartiers de bas standing (Bras, 2009). Il est également fréquent d'observer les habitants déposer leurs ordures dans les terrains vagues provoquant ainsi la création de dépôts sauvages. Plus grave encore, l'accumulation des déchets dans les drains et les caniveaux obstrue les canalisations ce qui crée de sérieux problèmes d'évacuation des eaux pluviales (nombreux embâcles), d'importantes inondations et par la même, des risques sanitaires élevés. Cette situation est d'autant plus dramatique dans les zones dites « bidonvillisées » (Cité-Soleil et Carrefour-Feuilles) qui ne connaissent aucun système d'assainissement effectif aussi bien pour les résidus liquides que solides. Enfin la récupération informelle n'est pas à négliger puisqu'elle mobilise un nombre important de récupérateurs à travers les dépôts sauvages et au sein de la décharge de Truitier.

3.2- Choix de la filière d'élimination des déchets

3.2.1- Composition moyenne des déchets humides dans les deux quartiers cibles

Les résultats obtenus après caractérisation des déchets ménagers et assimilés à Carrefour Feuilles sont présentés dans la Figure 3.

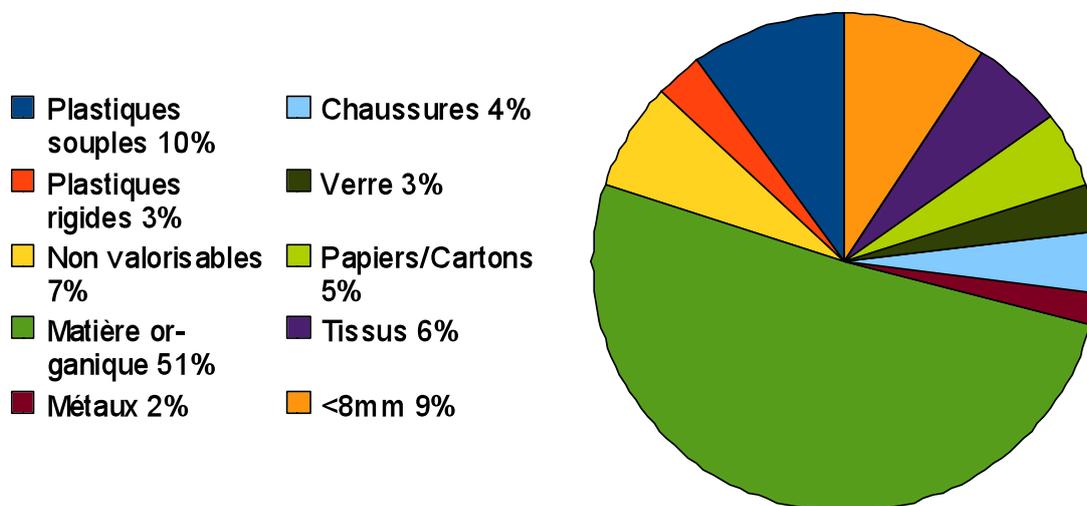


Figure 3 : Composition moyenne des déchets humides à Carrefour Feuilles.

Les déchets humides générés à Carrefour Feuilles présentent une part importante de déchets fermentescibles (51%), ce qui est caractéristique des pays en développement avec une situation socio-économique similaire : 64,6% à Mostaganem (Guermoud *et al.*, 2008), 70% à Agadir (ONEM, 2001), 63% à Amman (Abu-Qudais, 2000), 68% Tunis (Hafid *et al.*, 2002). Par ailleurs, le compostage de la part fermentescible des ordures ménagères produites ne résoudra qu'une partie du problème, la matière organique ne représentant que 51% de la masse totale de déchets humides. La pérennité d'une telle filière de traitement ne passera donc que par la diversification des activités autour de la gestion des déchets (valorisation énergétique et/ou matière des autres fractions).

3.2.2- Valorisation des déchets produits

Étant caractérisés par une faible teneur en produits compressibles (emballages en particulier, ne dépassant pas les 15-20% de la masse humide) et une masse volumique très élevée (de 0,5 à 0,7 T/m³), le compactage des résidus n'est pas nécessaire voire même impossible ou tout du moins se traduira par une efficacité marginale du tassement par la benne en décharge. Par ailleurs, le procédé d'incinération n'apparaît pas non plus comme une solution viable puisque les teneurs élevées en matières organiques (50%) et l'humidité des déchets (de 60 à 80%) font que leur PCI¹ est souvent inférieur à 1 400 ou même à 1 000 mth.kg⁻¹, ce qui n'assure pas leur auto-combustion et au contraire oblige au rajout de combustible.

Le compostage constitue donc *a priori* une solution adéquate. Il permettrait en outre la valorisation d'un excédant de matière organique produite par les ménages mais aussi par les marchés de la capitale.

3.3- Qualité des composts produits

En tant que technique de valorisation biologique, le compostage permet de transformer radicalement des déchets en un matériau utile et non polluant. Mais encore faut-il que la technique soit correctement appliquée et que les déchets utilisés soient de qualité correcte. Ainsi, sur chaque site, des équipes participent au tri rigoureux de la matière organique afin de ne pas retrouver plastiques, verres et autres indésirables dans le produit final. La réussite d'une unité de compostage, son efficacité économique et technique imposent donc de mettre au même niveau l'objectif de traitement des déchets et celui de production de compost. Pour obtenir un compost de qualité, c'est à dire capable de i) fixer l'eau dans le sol et ii) apporter des éléments nutritifs et oligoéléments, il faut s'assurer de la sélection des intrants et de la composition du substrat afin de répondre au besoin de fertilisation des sols.

Par ailleurs, dans les conditions d'essais de compostage (un retournement chaque semaine le premier mois, puis une fois par mois ; arrosage lorsque le corps de l'andain s'assèche), un temps de compostage minimum de 90 jours est nécessaire pour obtenir une matière suffisamment sèche et mature pouvant être affinée et commercialisée. Ce temps peut être réduit significativement en améliorant notamment le système de ventilation pour pallier à la diminution de l'espace lacunaire liée au tassement de la matière au cours du compostage.

Le suivi de la température au cours des essais de compostage sur les sites de Carrefour-

¹ Le pouvoir calorifique est défini comme la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de poids en ordures brutes. Il s'exprime en millithermie par kilogramme d'ordures (mth/kg). Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) suppose que la vapeur d'eau formée pendant la combustion est revenue à l'état liquide. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) quant à lui, s'obtient si l'eau est formée à l'état vapeur. C'est donc la vapeur du PCI qui permet de proposer ou de refuser l'incinération des ordures. Il varie dans les régions équatoriales entre 800 et 2500 mth /kg.

Feuilles et Cité-Soleil a permis de constater l'atteinte de températures élevées, comprises entre 70 et 80°C, maintenues sur plusieurs jours. Le maintien d'une température supérieure à 60°C sur une semaine est généralement préconisé pour l'élimination des germes pathogènes (hygiénisation du compost) présents dans les composts (ADEME, 2008). La norme française sur les amendements organiques considère deux critères biologiques : quantification des œufs d'helminthes et quantification des Salmonelles. Ces deux analyses effectuées sur le compost de Bois-Neuf ont permis de constater l'absence totale de ces deux agents pathogènes. Toutefois, ce résultat obtenu sur un échantillon de compost relativement sec (séchage au soleil avant conditionnement et expédition au laboratoire d'analyse, humidité de 11%) devra être confirmé sur d'autres échantillons de compost collecté sur les plateformes expérimentales.

Les résultats d'analyse du compost produit au cours de l'essai de compostage sur le site expérimental de Bois-Neuf sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Résultats de l'analyse agronomique, des éléments métalliques, des inertes et impuretés du compost de Bois-neuf.

Valeur agronomique	Symboles et unités	Sur sec	Sur produit brut
Matière Sèche	MS (%)		88,8
Matière Minérale	MM (%)	57,3	51,3
Matière Organique	MO (%) et C = MO/2	42,2	37,5
Carbone organique	C (g.kg ⁻¹)	267,6	237,6
Azote Ammoniacal	N-NH ₃ (g.kg ⁻¹)	0,04	0,03
Azote Organique	N-org (g.kg ⁻¹)	22,5	19,9
Azote Nitrique	N-NO ₃ (g.kg ⁻¹)	1,45	1,28
Rapport C/N	C/N		11,2
Phosphore	P ₂ O ₅ (g.kg ⁻¹)	9,34	8,30
Potassium	K ₂ O (g.kg ⁻¹)	28,63	25,43
Calcium	CaO (g.kg ⁻¹)	117,05	103,94
Magnésium	MgO (g.kg ⁻¹)	11,89	10,55
pH	pH		7,54
Eléments traces métalliques (ETM)	Symboles Unité : mg.kg ⁻¹	Sur sec (% de la valeur limite)	Sur produit brut
Cadmium	Cd	1,50 (50%)	1,33
Chrome	Cr	40,90 (34%)	36,22
Mercure	Hg	0,09 (5%)	0,08
Nickel	Ni	27,80 (46%)	24,69
Plomb	Pb	62,00 (34%)	55,06
Sélénium	Se	< LQ (LQ = 2,5)	< LQ
Arsenic	As	< LQ (LQ = 2,5)	< LQ
Cuivre et zinc	Symboles Unité : mg.kg ⁻¹	Sur sec	Sur produit brut
Cuivre	Cu	464,80 (155%)	412,74
Zinc	Zn	362,20 (60%)	321,63
Granulométrie des éléments indésirables (NF U44-164)	Sur sec (% de la valeur limite)		
Cailloux	6,00% sur > 5 mm 11,00% sur 2-5 mm 1,34 sur < 2 mm		
Verres	0,11% sur > 5 mm 0,00% sur les 2 autres fractions		
Métaux	0,00% sur les 3 fractions		
Films et Polystyrène expansé (PSE)	0,00% sur les 3 fractions		
Autres plastiques	0,03% sur 2-5 mm et 0,00% sur les 2 autres fractions		
Agents pathogènes			
Œufs d'helminthes viables	Absence		
Salmonelles	Absence		

3.3.1- Teneur en matière carbonée et azotée et autres éléments fertilisants

Le compost de Bois-Neuf se caractérise par un pH de l'ordre de 7,5, valeur qui confirme la bonne maturation de la matière organique. La teneur en matière organique est de 37,5%_{MB} (correspondant à 27%_{MS} de carbone organique), teneur supérieure à la valeur seuil de la norme NF U44-051 (> 20%_{MB}). Par conséquent, ce compost peut être considéré comme un amendement organique dont la teneur en matière organique élevée permettra d'enrichir un sol pauvre en matière organique.

La teneur en azote total de 2,4%_{MS} conduit à la détermination du rapport C/N de l'ordre de 11, soit un équilibre C-N satisfaisant et proche des données citées sur les composts urbains (Matejka *et al.*, 2001). Néanmoins, l'analyse détaillée de l'azote (azote organique, ammoniacal, et nitrique) tend à indiquer que l'azote total présent dans le déchet n'est pas totalement disponible. En effet, près de 94% de l'azote est sous forme organique. En conséquence, l'usage de cosubstrats riches en azote tels que des déjections animales permettrait d'augmenter les propriétés fertilisantes de ce compost.

Par ailleurs, l'analyse de P₂O₅ et K₂O, permet d'évaluer le potentiel d'apport en phosphore et potassium, éléments chimiques nécessaires à la croissance végétale. L'apport en phosphore est faible, et inférieur au seuil conseillé par la NF U44-051 (> 1%_{MS}) pour un amendement avec engrais. Pour le potassium, la teneur est également faible. De même que pour l'azote, l'usage de compléments locaux est également conseillé pour enrichir le compost en phosphore et potassium avec par exemple respectivement, de la poudre d'os et des cendres. Enfin, les teneurs en magnésium et calcium semblent suffisantes pour garantir un apport complémentaire nécessaire à la croissance végétale.

Par conséquent, le compost produit sur la plateforme de Bois-Neuf dispose de propriétés satisfaisantes en terme de teneur en carbone et azote, qui tendent à supposer qu'il s'agit d'un produit favorable à la restructuration d'un sol appauvri. Toutefois, ses qualités agronomiques sont probablement faibles, avec des teneurs en azote disponible, phosphore et potassium faibles. Des essais agronomiques d'utilisation de tels composts urbains, avec ou sans compléments d'engrais chimiques ou naturels, permettraient de confirmer nos hypothèses.

C'est le cas par exemple des essais en plein champ rapportés par Vanai (1995), qui permettent de confirmer la valeur fertilisante de composts urbains en améliorant les rendements de plusieurs cultures maraîchères. Les résultats ont confirmé par ailleurs que, plus le sol est appauvri en matière organique plus l'action du compost urbain sur le développement de la plante est importante. Enfin aucune manifestation d'action toxique n'a été observée sur la plante, malgré l'incorporation de quantités très élevées de compost urbain.

3.3.2- Teneurs en éléments trace métalliques et éléments indésirables

Les teneurs en éléments trace métalliques (ETM) et éléments indésirables sont présentées dans le Tableau 2. Nous constatons des concentrations non négligeables en métaux lourds telles le chrome et le plomb (34% du seuil de la norme NFU 44-051), le cadmium (50% du seuil) et nickel (46% du seuil). Ces teneurs encore acceptables, s'expliquent d'une part par l'origine urbaine des déchets traités et, d'autre part, par la localisation également urbaine du site expérimental de Bois-Neuf. Par ailleurs, la faible teneur en plomb est à souligner, étant donné le niveau de pollution atmosphérique de la région métropolitaine de Port-au-Prince.

La faible teneur en mercure et l'absence de sélénium sont de bons arguments pour supposer que ce compost se caractérise par un faible potentiel de toxicité. Toutefois, cette hypothèse doit être nuancée par les concentrations particulièrement élevées en zinc $362 \text{ mg.gkg}^{-1}_{\text{MS}}$, et surtout en cuivre, $465 \text{ mg.gkg}^{-1}_{\text{MS}}$, correspondant respectivement à $60\%_{\text{MS}}$ et $155\%_{\text{MS}}$ de la valeur seuil préconisée par la norme NFU 44-051. La présence élevée de ces deux métaux n'est pas encore élucidée. La raison la plus probable serait la forte teneur en cuivre et zinc dans le sol sur lequel se trouve la plateforme de Bois-Neuf. Cette hypothèse devra être vérifiée. Toutefois, et malgré le dépassement pour le cuivre de la concentration seuil tolérée de la norme NFU 44-051, le compost de Bois-Neuf ne présente pas de risque pour la santé humaine.

Enfin, l'analyse des inertes indésirables révèle de faibles teneurs en cailloux, métaux, morceaux de verre et plastiques. Les teneurs sont nettement inférieures aux seuils indiqués par la norme française sur les amendements organiques. Les faibles teneurs en indésirables sont bien évidemment liées au soin apporté à la phase de tri sur le compost mûré lors de l'essai de compostage réalisé sur la plateforme de Bois-neuf.

3.4- Effets escomptés du compost urbain sur les propriétés des sols

Les premières observations faites sur les sols de montagne entre Kenscoff et Furcy montrent que le couple érosion - ruissellement combiné à l'exploitation légumière intensive (forte fertilisation minérale + exportation des résidus de récoltes) modifie plus ou moins progressivement leurs propriétés organo-minérales. Il s'agit d'un simple processus mécanique au cours duquel le détachement et le transport solide se font au gré des variations de résistance du sol et des concentrations de ruissellement. Mais il est vraisemblable que leur potentiel de fertilité est également affecté par la sélectivité des éléments fertiles ou par transport des colloïdes et des micro-agrégats ce qui contribuerait ainsi à accélérer la décomposition du réseau racinaire et des fibres végétales et la dilution des matières organiques.

La plupart de ces sols ont leur potentiel concentré en surface (couche arable mince) ce qui les rend encore plus vulnérables à l'érosion et au processus de glissement (en particulier pour les sols développés sur matériau volcanique). Ces sols sont par ailleurs cultivés sur pentes fortes à très fortes (qu'ils soient développés sur calcaire ou basalte) subissant parfois un décapage de surface sévère faute de dispositifs antiérosifs et de méthodes culturales adaptés. Ils perdent alors, dans un laps de temps relativement court, leur potentiel de productivité. Face à ce constat, nous formulons plusieurs hypothèses pour pallier en partie ce type de problèmes récurrents en supposant les impacts positifs du compost sur les propriétés intrinsèques du sol suivants :

- L'association des apports réguliers de compost avec un paillage léger (déchets de labour, résidus de récolte, litière d'aiguilles de pin ou autres composants arbustifs, BRF, etc.) régule et favorise l'infiltration des eaux de pluie, diminue les risques de lessivage et la dilution des matières organiques et augmente significativement la Capacité d'Echange Cationique (CEC) de l'horizon de surface ainsi que son taux de saturation ;
- L'amélioration de la fertilité de sols contribue à la production de biomasse et à une meilleure disponibilité en eau surtout durant les périodes critiques de la plante (floraison et maturation). De ce fait, la réduction du ruissellement entraîne une augmentation de l'infiltration et contribue à une légère amélioration de l'évapotranspiration réelle.
- L'apport de la matière organique fraîche du compost et du paillage contribue à maintenir

une stabilité structurale en surface et à réactiver l'activité microbiologique de l'horizon humifère. Au fil des années et sur le long terme, ce processus influe sur la restauration des propriétés organo-minérales des sols par une recombinaison des ions Ca^{2+} avec une certaine forme de matière organique agglomérés en complexe organométallique de type humo-calcique (Duchaufour et al, 1996). Les propriétés porales et structurales des sols ainsi améliorées participent à leur résistance mécanique au ruissellement (résistance à la déstructuration, détachabilité et charriage des agrégats) ce qui diminue en conséquence leur érodibilité.

Les effets bénéfiques du compost sur la résistance mécanique des sols mériteraient une série d'études scientifiques poussées. Toutefois, il nous apparaît peu intéressant de renouveler l'expérience des parcelles Wischmeier de certains pays africains (Madagascar, Côte d'Ivoire, Kenya, Burundi, Rwanda, etc....) dont la méthodologie est trop onéreuse, trop rigoureuse, contraignante et incomplète dans le contexte du relief haïtien. Nous chercherons plutôt à apprécier l'érodibilité de ces différents sols de montagne par de simples tests, notamment celui de la stabilité structurale des agrégats (test de HENIN) et de son évolution dans le temps. La mesure de la perméabilité, d'autant plus faible que la structure est moins favorable, compléterait les résultats obtenus. D'après Valentin (1989), l'indice de stabilité structurale est en bonne relation avec les pertes en terre et la résistance du sol à l'état sec ou peu humecté par les pluies (début de saison des pluies). Egalement, les limites d'ATTERBERG² conviendraient mieux pour évaluer la résistance des sols humides de fin de saison de pluie.

Avec la connaissance précise des profils structuraux (stabilité structurale, détermination des domaines de consistance par plage d'humidité, évolution du profil structural dans le temps, analyse du profil hydrodynamique avec test de perméabilité par horizon), du taux de matière organique et de son turnover, des teneurs de fer et alumine libre et du type d'argile, il sera alors possible de mieux apprécier l'érodibilité des sols dans la zone d'étude et de mesurer l'influence du compost sur leur résistance à l'érosion. Par ailleurs, pour rendre l'action du compost plus efficace et pertinente, différents aménagements antiérosifs (mécaniques et biologiques) devront également être mis en place pour le cas des parcelles fortement exposées au ruissellement concentré et situées sur un versant accidenté.

Précisons toutefois que suivant le normographe de Wischmeier (1971), l'élévation de 1 % du taux de matière organique ne réduit l'érodibilité que de 5%. Cependant, des études (Duchaufour et al, 1996) ont montré que sur sol cultivé, une très forte fumure organique a non seulement élevé le taux de matière organique de 1% mais a permis aussi le développement d'un couvert végétal dense. L'action de l'érosion a été stoppée totalement une fois que le taux de couverture maximum fut atteint. Des études ont également montré que des apports de carbonate de chaux améliorent de 5 à 10 % la résistance d'un sol acide à l'agressivité des pluies (Roose, 1994). Les expérimentations menées en milieu réel tiendront donc compte de l'ensemble de ces facteurs.

3.5- Retombées socio-économiques

3.5.1- En milieu urbain

La mise en place des deux plateformes de compostage artisanales a contribué au maintien de l'équilibre social dans les quartiers grâce notamment à la création d'emplois voués à être

² Les limites d'ATTERBERG définissent les teneurs en eau qui caractérisent les changements d'état d'un sol. Il s'agit d'un test sur échantillons remaniés.

pérennes (390 emplois créés par le PNUD à Carrefour Feuilles, une quinzaine à Bois Neuf) et au nettoyage des zones habitées. De plus, l'existence d'alternatives à la « mise en ravine », permet de ne plus considérer ces lieux comme le réceptacle des déchets ménagers et de s'affranchir ainsi de nombreux problèmes environnementaux (obstruction des canalisations, inondations), sanitaires (proliférations d'insectes, foyer pour d'éventuelles épidémies) et politiques (difficultés à intégrer ces zones dans des systèmes de planification urbaine).

3.5.2. En milieu rural

En Haïti comme dans la plupart des pays du Sud, les engrais sont utilisés de manière anarchique, souvent de manière disproportionnée avec pour première conséquence la pollution des nappes phréatiques et l'endettement de certains paysans. Il est possible de donner au compost en tant qu'intrant organique, une valeur nutritive globale positive sur le plan agronomique. Outre son impact bénéfique sur les propriétés physique et chimique des sols, son utilisation présente d'importants avantages sur les plans alimentaire par l'augmentation des rendements et monétaire par l'augmentation des revenus des paysans (Ngnikam, 1993).

Plus difficile à évaluer, l'utilisation de composts pourrait avoir un impact positif sur la non-réurrence de catastrophes écologiques telle que celle de Hanna en septembre 2008 (cyclone le plus violent des 20 dernières années faisant perdre la vie à plusieurs centaines d'Haïtiens et laissant derrière lui des dégâts matériels estimés à plusieurs millions d'euros) grâce à sa participation à la végétalisation des sols, à la lutte antiérosive, à l'amélioration des rétentions en eau et indirectement, à une élévation du revenu agricole des familles rurales.

3.6- Modèles socio-économiques de transférabilité ville-campagne

Les études et diagnostics en milieu paysan étant actuellement en cours, il est difficile pour l'instant d'établir des modèles de transférabilité ville-campagne. Néanmoins, la connaissance des zones périurbaines maraîchères et les apports de la bibliographie, ont permis d'esquisser plusieurs hypothèses sur ces modèles socio-économiques. La Figure 4 présente de manière synthétique une comparaison de la relation ville campagne entre un système de production d'amendements organiques grâce à la valorisation des déchets urbains et un système de non gestion et/ou de mise en décharge des déchets. Si ces hypothèses se confirment, les effets bénéfiques directs et indirects de l'utilisation du compost en milieu rural, mêmes s'ils sont difficilement mesurables, devraient permettre une meilleure protection des ressources naturelles (pression moins importante sur les ressources ligneuses, protection des sols...) et augmenter les revenus des agriculteurs à court terme ce qui répondrait ainsi à l'une de leur préoccupation majeure.

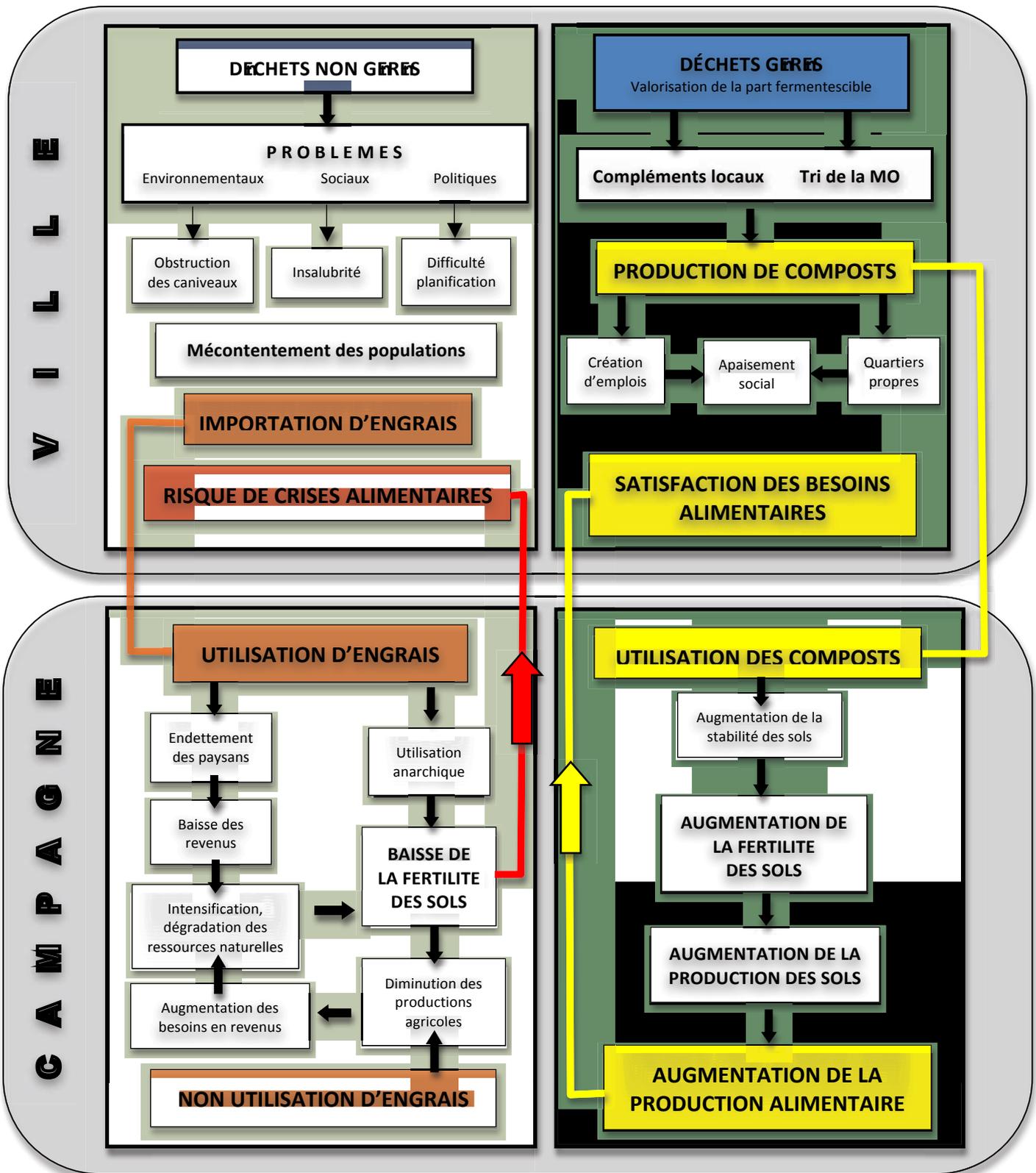


Figure 4 : Modèle socio-économique de transférabilité ville-campagne.

4- Conclusion

Le monde rural haïtien se trouve depuis plusieurs années dans une position difficile et doit faire face à de nombreux problèmes : dégradation des sols, déforestation, malnutrition, incapacité des familles à épargner, pression foncière due à une démographie trop élevée, revenus agricoles très faibles, incapacité de renouveler le capital animal et outil et exode rural très important. Face à ce constat, les paysans sont à la recherche d'activités

rémunératrices à court terme lesquelles sont souvent contradictoires avec les politiques d'aménagement du territoire (restauration des sols par exemple) dont les bénéfices s'évaluent après plusieurs années.

Il est donc aujourd'hui primordial de mettre en place des logiques de développement rural visant à résoudre les problèmes immédiats des populations. Dans ce sens, l'utilisation des composts, si les hypothèses sont vérifiées, pourrait satisfaire cette demande en participant à l'augmentation des revenus paysans à court terme, notamment grâce à l'amélioration des rendements. Dans un modèle de transférabilité ville-campagne, les villes pourraient profiter de ces meilleurs rendements pour répondre à leurs besoins alimentaires et éviter les crises à récurrence que le pays traverse régulièrement.

Toutefois, l'intérêt du compostage est à relativiser pour les déchets de ville, puisque la matière organique ne concerne qu'à peine 51% des ordures ménagères. Il faut donc imaginer aussi des filières de revalorisation pour les 49% de déchets restants. L'objectif principal étant de mettre en place des filières durables, il est fort vraisemblable que la pérennité ne passera que par la diversification des activités autour de la gestion des déchets : vente et utilisation de compost, mais sans doute aussi d'autres fractions telles que la valorisation énergétique des papiers-cartons et du bois, la valorisation matière pour les plastiques, les tissus, les métaux et le verre.

A relativiser aussi, l'impact du compost enterré lors du labour sur l'érodibilité des sols. Il est en effet difficile de remonter le taux de carbone du sol en milieux tropicaux chauds et humides. L'effet du compost ou fumier ne dure en moyenne que de un à deux ans et influe essentiellement sur les rendements des cultures, très peu sur l'érosion et l'infiltration. Des parcelles expérimentales de 100 m² ont été retenues dans le cadre de la poursuite de cette étude afin de vérifier l'effet du compost à la fois sur les rendements de culture, sur l'évolution des propriétés bio-géochimiques des sols de montagne et enfin sur la durabilité du système.

En cas de réussite de l'opération sur le plan économique et sociologique, ce modèle évoquerait la transmutation du négatif (à l'exemple des déchets) en positif (à l'exemple de la restauration de la fertilité et de la productivité) dont Haïti a tant besoin ; cette transformation vers la fertilité que les Haïtiens doivent opérer eux-mêmes (Sauval, communication orale).

BIBLIOGRAPHIE

Normes citées :

AFNOR NF U 44-160 (1985). Amendements organiques et supports de culture : détermination de la matière organique totale. Méthode par calcination.

AFNOR NF U 44-171 (1982). Boues. Amendements organiques et Supports de culture : Détermination de la matière sèche.

AFNOR NF XP X 30-408 (1996). Déchets Ménagers et assimilés - Caractérisation d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés.

AFNOR XP U 44-164 (2004), Amendements organiques et supports de culture - Méthode d'analyse des composants inertes dans un compost.

AFNOR NF X 30-413 (2006). Déchets et assimilés. Constitution d'un échantillon de déchets ménagers et assimilés contenus dans une benne à ordures ménagères.

AFNOR NF U 44-051 (2006). Amendements organiques. Dénominations, spécifications et marquage.

Références :

Abu-Qudais M. & Abu-Qudais H.A. (2000). Energy content of municipal solid waste in Jordan and its potential utilization. *Energy Conversion & Management* 41 (9) : 983-991.

ADEME (2008). Guide pratique sur le compostage. ADEME Editions, Paris, 20 pages.

Bras A. (2009). Eléments pour une définition de la problématique de la propreté urbaine en Haïti : le cas de Port-au-Prince. Thèse : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2010 [17/05/2010]. Disponible sur : <http://docinsa.insa-lyon.fr/these/pont.php?id=bras>

CEFREPADE (2008). Compostage des déchets ménagers dans les pays en développement : modalités de mise en place et de suivi d'installations décentralisées pérennes. Document provisoire. Disponible sur <http://www.cefrepade.org/documents/guide%20compostage%20cefrepade.pdf>.

Duchaufour H., Guizol P., Bizimana M., Peltier R., & Pouilloux C. (1996). Avantages et inconvénients de la haie mixte Calliandra / Setaria comme dispositif antiérosif en milieu rural burundais. 19 pages. *Bull. N°16 du Réseau Érosion ORSTOM*

Duchaufour. Ph. (1997). Abrégé de Pédologie. Sol, végétation, environnement, 5ème édition Masson. ISBN: 2-225-82862-8. 291 pages.

Guermoud N. *et al.* (2008). Municipal solid waste in Mostagenem city (Western Algeria). *Waste Management* (2008), doi:10.1016/j.wasman.2008.03.027.

Hafid N., El Hadek M., Elguitari A. & Bouamrane A. (2002). Evaluation of a simplified option for compost production from MSW. *Wastes* 25, 7-13.

Matejka, G., De las Heras, F., Klein, A., Paquetteau, F., Barbier, J., Keke, A., 2001. Composting of municipal solid waste in Labe (Guinea): process optimisation and agronomic development. In: Eight International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy, pp. 45–57.

Ngnikam E., Vermande P. & Rousseaux P., (1993). Traitement des déchets urbains. Une unité de compostage des ordures ménagères dans un quartier d'habitat spontané à Yaoundé (Cameroun). *Cahiers Agricultures (AUF)*. Vol.2 N°4, .

ONEM (2001). Environment state in Morocco. *Chapter 4: Wastes and Urban Areas. National Department of Environment, Morocco.*

Roose E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO* 70. 420 pages.

Samper O., Chapal E. & Braïlowsky A. (2006). Analyse de la problématique des déchets solides dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince. *Rapport intérimaire, Banque Interaméricaine de Développement*. 51 pages.

Smolikowski B. (1993). La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) : une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en Haïti. Cas du transect Petite Rivière de Nippes-Salagnac-Aquin dans le sud d'Haïti. *Cah. ORSTOM, Série Pédol.*, 28 (2) : 229-252.

Valentin C. & Janeau J.L (1989). Les risques de dégradation structurale de la surface des sols en savane humide de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM Série Pédol.* 25 (1) : 41-52.

Vanai P. (1995). Valorisation agronomique d'un compost urbain produit par méthanisation : étude en milieu tropical. Thèse de doctorat. Polynésie Française, 172 p.

Wischmeier W.H., Johnson C.B. & Cross B.V. (1971). A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. *J. Soil & Water Conservation* 26(5) : 189-192.

Le paysan haïtien et la lutte antiérosive depuis 50 ans : un bilan

Glenn R. Smucker,

Anthropologue, email : grsmucker@aol.com

Résumé :

Le problème de la conservation des sols en Haïti est fondamentalement un **problème social et l'une des conséquences de la pauvreté extrême des paysans de morne**. La forte densité et le mode d'occupation de la terre constituent des entraves majeures à la conservation des sols et de l'eau. En général les petits cultivateurs haïtiens utilisent des techniques de production originaires de la plaine telles que le brûlis qui crée de l'érosion dans les champs agricoles montagneux. Les paysans haïtiens sont conscients de la dégradation des sols et appliquent certaines pratiques traditionnelles de conservation. Pour arriver à un meilleur résultat de la lutte antiérosive, il est impératif d'adapter l'expertise des techniciens à la réalité quotidienne du paysan.

Depuis 1950, toute une série d'approches de la conservation des sols se sont succédées : des approches équipement du territoire, la construction de murs secs par des projets « nourriture pour le travail », des approches au niveau de parcelles éparpillées, des approches collectives au niveau du micro bassin versant, et des approches économiques : la production durable pour des nouveaux marchés et récemment, la protection des bassins versants en amont et en aval.

Les leçons qu'on peut tirer d'une lecture des éléments d'histoire. Approche économique : Identifier des cibles d'opportunité économique comme le point de départ à la lutte antiérosive. **Adapter l'approche au contexte réel.** L'innovation réussie se construit sur des pratiques déjà familières aux paysans et accessibles par application de la main d'œuvre avec très peu de coût monétaire, et surtout avec le résultat tangible d'une augmentation significative des revenus à court et moyen terme. **Incitations intrinsèques :** Faire la vulgarisation des techniques de conservation à base des incitations intrinsèques, et surtout économiques, tout en évitant la dépendance sur des incitations extrinsèques et artificielles de projet. **Zonage hydrographique :** Pour maximiser l'impact il faut concentrer les efforts géographiquement, atteignant une masse critique de planteurs d'une zone et ciblant des sites prioritaires d'opportunité économique aussi bien que des sites de risque élevé. **Utiliser une approche participative à base de subsidiarité :** Pour des actions collectives ou publiques et pour les plans locaux d'aménagement, la responsabilité organisationnelle doit être allouée à la plus petite entité capable de résoudre le problème, par exemple les parties prenantes d'une ravine, un micro bassin versant, un petit périmètre irrigué.

Mots clefs : Haïti, paysan, conservation des sols, érosion, stratégies, bilan

Abstract

From 1950 a lot of SWC strategies have been tested in Haïti. The author tried to extract lessons. Develop strategies adapted to local context, test techniques familiar to farmers, adopt economic intrinsic incitement but avoid dependence of extrinsic incitements. Concentrate the efforts of management on geographical areas like watersheds or gullies or one hydrological unit where people usually are working together: you will get better participation

Keywords: Haiti, anthropologic evaluation, SWC approaches, recommendations

1. Introduction

Du point de vue de l'anthropologue, le problème de la conservation des sols et de l'eau en Haïti est fondamentalement un problème social et l'une des conséquences du niveau aigu de la pauvreté. Le taux élevé d'érosion des mornes d'Haïti reflètent des décisions agricoles de milliers de petits paysans face aux réalités sociales et économiques de la vie quotidienne. Malgré le taux fortement élevé de l'exode rural en Haïti, la population rurale appauvrie continue à croître sans cesse. La forte densité d'occupation de la terre et le mode d'occupation constituent des entraves majeures à la conservation des sols.

Près de 80 percent du territoire d'Haïti est composé de collines (mornes) qui n'ont pas de vocation naturelle pour la production de denrées annuelles alors que la vaste majorité des cultivateurs du pays travaillent ces pentes fortement accidentées. La production principale sur ces pentes à haute risque d'érosion est un mélange de cultures sarclées. À peine 28 percent des terres en Haïti est techniquement arable alors que près de deux tiers des terres cultivées se trouvent en pente et c'est là le problème fondamentale d'érosion.¹

Les commentaires médiatiques parlent sans cesse du charbon de bois comme le problème fondamental des désastres écologiques en Haïti. C'est faux. Au fond le problème de conservation en Haïti est tout simplement la réalité de trop de cultivateurs occupant des terres érodées de morne, **un niveau d'occupation qui dépasse beaucoup la capacité de charge des terres** et qui impose une pression énorme sur les ressources naturelles du pays.

2. Le paysan et la conservation

Du point de vue agricole, Haïti a un régime de petits cultivateurs et surtout des cultivateurs de montagne qui constitue globalement un système de minifundia composé de trois ou quatre parcelles non contiguës par exploitation agricole. Ces parcelles sont gérées d'une façon variable selon les caractéristiques de chaque parcelle notamment la pente, le type du sol, l'humidité des sols, la mode formelle d'accès à la terre et aussi la durée probable d'accès qui peut varier considérablement quelque soit le mode d'accès.

La plupart des petits paysans haïtiens sont propriétaires de certains terrains agricoles mais d'une façon générale les exploitations paysannes incluent aussi d'autres parcelles de condition d'accès variable. Le mode d'accès aux parcelles éparpillées des exploitations paysannes est gouvernée par tout un mélange de règles formelles et coutumières et de modes de faire valoir direct et indirect. Des études de terrain ont révélé que la durée de temps d'accès à la parcelle est assez souvent le facteur déterminant d'utilisation et d'investissement conservationnistes, quelque soit le mode formelle d'accès (comme propriétaire par achat ou héritage ou bien par le métayage monétaire (*fèm, potèk, plann*) ou non monétaire (*demwatye* ou usufruit).²

¹ Pour le potentiel agronomique de la terre voir Ehrlich *et al* (1985), les cartes d'USTIG traitant du risque d'érosion du sol (2001) et de l'occupation du sol (2001) à partir des images de satellite, et Smucker *et al* (2007a) qui a fait une analyse de risque de tous les 54 bassins versants et principaux sous-bassins du pays.

² Voir McClain *et al* (1988), Bloch *et al* (1988) traitant du foncier en Haïti.

Étant donné qu'au moins 58% de la population rurale tombe en dessous de la ligne de pauvreté extrême³, ce n'est pas étonnant que la tendance prédominante des décisions agricoles paysannes en Haïti découle nécessairement de la gestion des risques plutôt que de la maximisation des revenus.⁴ Par exemple, en parlant de l'association classique du maïs-pois un planteur paysan de Bellefontaine a remarqué:

*Pwa bay plis kòb,
mayi bay plis garanti pou nou manje*

L'haricot génère de l'argent en plus,
mais le maïs donne une meilleure
garantie de nourriture à manger (moins
aléatoire)

En général les petits cultivateurs haïtiens utilisent des techniques de production originaires de la plaine telles que le brûlis qui crée de l'érosion dans les champs agricoles montagneux. Le paysan fait la polyculture en exploitant tout un mélange de cultures annuelles et pérennes inter-plantées et avec des récoltes étalées. C'est un système de « grappillage » selon le géographe Paul Moral et c'est un système assez complexe.⁵ Pour la conservation du sol et de l'eau et dans l'absence des agents agricoles de l'état, l'acteur principal est le petit cultivateur lui-même qui applique parfois certaines pratiques conservacionnistes traditionnelles par exemple la jachère et la rotation de cultures.

Le petit cultivateur fait face à des décisions incontournables qu'il doit prendre et les techniques recommandées ne sont pas toujours applicables dans le contexte réel des exigences paysannes. Néanmoins les paysans haïtiens sont conscients du phénomène de la dégradation des sols et appliquent certaines pratiques conservacionnistes avant l'arrivée des techniciens. Pour arriver à un meilleur résultat en terme de conservation de l'eau et des sols, il est souhaitable d'adapter l'expertise des techniciens à la réalité du paysan. Dans certains projets de vulgarisation on ne fait qu'améliorer des structures déjà connues en utilisant la courbe de niveau et par augmentation de la biomasse de structures vives et la construction de barrières plus durables.

C'est ainsi que l'on peut rencontrer aux champs paysans des structures traditionnelles de conservation telles que :

- des « *ranpay* » ou rampes de pailles sur courbe approximative de niveau,
- *ranpay* améliorée avec terre empilée
- des petites haies vives de vetiver sur courbe approximative de niveau,
- des clôtures vives d'espèces variables,
- la construction artisanale des lagons de riz (terrain plat inondé),
- des petits périmètres d'irrigation artisanale,
- le sarclage « *an woulo* »,

³ La pauvreté extrême est définie ici selon Verner (Banque Mondiale, 2008) et la Carte de Pauvreté (MPCE/BID, 2004) à EUA\$1 par jour par personne. A raison de \$2 PPP, 81% de la population rurale tombe en dessous de la ligne de pauvreté simple selon MPCE/BID.

⁴ Voir Smucker, White et Bannister (2002) traitant du foncier et l'adoption des technologies agricoles, Wiens et Sobrado (1998) et Verner (2008) pour la distribution de la terre paysanne en Haïti et l'analyse des revenus.

⁵ Paul Moral (1961), Le paysan haïtien : étude sur la vie rurale en Haïti.

- des digues de ravine (seuils) composées de bananiers, de malanga, d'ignames,
- des digues de ravines améliorées en utilisant le clissage ou « kleonaj »,
- des « bit » (buttes) de patates douces,
- le « siyon »(sillon) et le « biyon »(billon) ou buttes allongées,
- le « tram » espèce de *butte* élaborée et devenu « *plak bann* » (plate bandes) pour la production de légumes.

3. Techniques adaptées au contexte paysan

Bien qu'accusé parfois d'une certaine méfiance, le paysan haïtien s'est montré ouvert à l'innovation à condition que l'innovation rapporte des bénéfices concrets dans l'immédiat ou moyen terme : « Abitan di fòl wè » qu'on peut traduire comme « le paysan dit qu'il doit voir d'abord des résultats ». Là il y a un partenariat à faire du point de vue technique entre l'agronome et le paysan pourvu que l'agronome cherche à comprendre d'abord la logique du comportement du cultivateur afin de proposer en partenariat avec le cultivateur des solutions appropriées au contexte.

Par exemple le paysan utilise depuis longtemps une sorte de terrasse qui s'appelle « bit » en créole. Une espèce de butte améliorée est fortement utilisée à présent aux environs de Kenscoff et Fermathe en association aux murs secs et à la culture maraîchère, des nouveautés introduites par un agronome de Damien. Les petits cultivateurs de la zone appliquent actuellement ce paquet de technologies sur grande échelle et avec leurs propres ressources indépendantes des projets de développement. Ce « paquet conservationniste » diffusait de lui-même par adoption spontanée en dehors de toute subvention artificielle, car c'était une réponse pratique du paysan au marché de légumes. Pour le cultivateur l'investissement considérable de la main d'oeuvre pour les structures de conservation a été justifié, surtout pour la protection de son investissement coûteux en engrais, incitation que priorise le paysan sur la conservation proprement dit des sols et de l'eau.

4. Expérience historique de conservation

Haïti est un véritable laboratoire de lutte antiérosive. Historiquement il y avait plusieurs tendances à la conservation et à la vulgarisation agricole dans des milieux paysans. Le Ministère de l'Agriculture avait depuis longtemps des services de vulgarisation agricole et de conservation des sols. Ces services étaient chroniquement sous financés et ne pouvaient pas atteindre une masse critique de paysans. Avant la chute de Duvalier un réseau assez répandu d'agents forestiers utilisait des mesures coercitives pour contrecarrer le brûlis et la coupe anarchique d'arbres. Certains de ces agents ont été efficaces mais une bonne partie est devenue en effet des agents de déboisement à raison des incitations économiques liés à la coupe plutôt que la protection des arbres.

Depuis 1950 on a vu toute une série d'approches à la conservation qui se sont succédées.⁶ Par exemple :

⁶ Pour les tendances historiques voir aussi Murray (1979), Murray et Bannister (2004), Smucker *et al* (2005, 2007), Smucker (2001, 2002, 2003), White et Jickling (1992).

4.1. L'approche « équipement du territoire »

Au courant des années 1950 -70, il y avait certains projets bilatéraux avec le Gouvernement utilisant une approche d'équipement du territoire imposée sur des terres privées et publiques. Cette approche fortement dirigiste ciblait la zone géographique comme unité d'action et construisait des structures de conservation sans tenir compte des conditions foncières ni les intérêts des propriétaires impliqués et des paysans. Pour cette approche, la conservation était purement un problème technique à base de l'expertise d'ingénieur et de la construction sur grande échelle des structures mécaniques. On utilisait les murs secs à courbe de niveau et des canaux de contours. C'était une activité de travaux publics en payant les travailleurs. Cette approche a été fortement marquée par l'absence quasi totale de la durabilité et de l'entretien des structures.

4.2. L'approche ONG et la « nourriture pour le travail »

Les années 1970 ont vu l'émergence d'un certain nombre d'organisations non gouvernementales (ONG) qui travaillaient surtout avec des membres de Conseils d'Action Communautaire reconnus par l'Etat. Les ONG de cette époque utilisaient souvent le « food for work » comme mode de paiement pour la construction de murs secs et des canaux de contours. C'était toujours une approche de travaux publics utilisant des structures mécaniques sur les terres privées de petits cultivateurs.

À l'époque de « food for work » il y avait un écart entre la théorie de ces investissements du côté du bailleur/ONG et la réalité de terrain. Pour le bailleur c'était une question de mobiliser un travail bénévole avec un peu d'encouragement, alors que pour le cultivateur le paiement en nature était un véritable salaire qui dépassait largement le prix courant du journalier agricole. C'était le salaire qui intéressait le cultivateur et non le mur sec en soi. De ce fait le site le plus indiqué à protéger par les murs secs n'a pas été le critère déterminant selon le cultivateur. Au contraire le mur sec paraît le plus souvent comme une nuisance au cultivateur parce que cela faisait concurrence avec sa production. Il y avait aussi beaucoup de problèmes de durabilité de ces structures et de leur entretien et des défauts techniques qui avaient tendance à créer de l'érosion supplémentaire.

4.3. Approche parcellaire

A partir des années 1980, il y eu un changement de politique de certains des bailleurs tels que l'USAID en faveur des ONG et des contractants privés comme agents d'exécution de programmes de conservation et de vulgarisation agricole. Au courant des années 1990 les Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement ont établi aussi des contrats d'exécution avec des ONG conservationnistes.

A cette époque on a vu ***l'émergence des programmes de reboisement*** et de toute une gamme d'interventions diversifiées au-delà des structures mécaniques des programmes précédents. Ces interventions visaient au début la parcelle paysanne comme cible d'investissement et dans une certaine mesure tenait compte des préoccupations paysannes vis-à-vis de son exploitation agricole. EG : Pwoje Pyebwa de la PADF et de la CARE et plus récemment le Projet PLUS ont élaboré des techniques biologiques adaptées aux sites d'intervention par exemple la plantation d'arbres comme denrée (Pwoje Pyebwa) et l'établissement de ***la bann manje*** (Projet

PLUS) à la fois une structure biologique de conservation et un micro site de production. La Faculté d'Agronomie (Damien) et la coopération française ont fait aussi des interventions innovatrices aux environs de Madian-Salagnac (citerne captant les eaux de pluies et ruissellement sur pistes pour produire des légumes irrigués).

Ça a été une période intéressante du point de vue technique tout en tenant compte du système agricole paysan et de l'établissement des relations de partenariat entre technicien et cultivateur. Cependant du côté conservacionniste et environnementaliste l'approche parcellaire bien qu'utile ne représentait pas une solution fondamentale au problème de fond de la conservation qui dépassait largement la lisière de parcelles et surtout des parcelles éparpillées.

4.4. Approche participative dépassant la parcelle isolée

A partir des années 1980 on voit des expériences de vulgarisation conservacionniste qui dépassent le niveau des parcelles éparpillées. L'unité de travail est d'abord le **petit groupement de cultivateurs**. L'approche utilise des petits groupes de planteurs comme point de contact et source de main d'oeuvre non payée. Cette approche vise l'amélioration des pratiques traditionnelles comme base d'intervention. L'unité de traitement technique est parfois **le micro bassin versant et/ou des jardins associés** aussi bien que des parcelles éparpillées. Le technicien agricole travaille de pair avec l'animateur spécialisé en formation non-formelle et utilise lui-même des techniques d'animation comme moyen de faire passer des informations techniques.

Cette approche s'est montrée performante surtout au niveau des petits groupes de planteurs utilisant l'échange traditionnel de main d'oeuvre comme la clef d'un entretien auto-soutenu des structures de conservation. L'intervention au niveau de micro bassin versant et des jardins associés est une innovation remarquable en dépassant l'approche parcellaire du passé. Quelques exemples d'approches participatives incluent des programmes à base de mouvements des petits groupements de producteurs à Maissade, Gros-Morne et Papaille des années 1980 et les Projets PLUS et ASSET (surtout vers la fin du projet) des années 1990.

4.5. Une approche économique

Cette approche vise d'abord **l'augmentation des revenus des petits planteurs à partir des nouveaux marchés**. La stratégie de marketing a comme objectif de générer des bénéfices adéquats pour couvrir les dépenses des agriculteurs et augmenter leur revenus agricoles en général – des revenus permettant d'amortir les investissements en conservation de sol et en germoplasme amélioré (voir l'expérience de PADF-PLUS et du DAI-HAP par la suite à partir des années 1990)⁷. Cette approche est basée sur l'incitation du marché pour justifier les investissements coûteux et conservacionnistes tel que la plantation de cultures pérennes, le **greffage d'arbres fruitiers**, la **correction des ravines et l'utilisation des haies vives** du type *bann manje* pour atteindre des revenus supérieurs, ce qui permettrait à l'exploitant d'amortir les investissements dans des intrants et la main d'oeuvre coûteuse de la construction et l'entretien des structures de conservation. Historiquement le modèle type comme référence remonte à l'époque de l'évolution de la culture maraîchère aux environs de Fermathe, Kenscoff et Furcy.

⁷ Voir Smucker (2001, 2005) sur les expériences de PADF-PLUS et DAI-HAP.

4.6. De l'approche économique à la protection des bassins versants

Plus récemment des bailleurs tels que l'USAID et la BID en partenariat avec l'état Haïtien visent la protection des bassins versants en vue du rythme croissant des catastrophes écologiques à partir **des inondations sévères, cyclones et tempêtes tropicales**. Cette phase d'évolution des investissements conservacionnistes date de la tempête tropical Jeanne en septembre 2004 et la série de quatre cyclones qui ont frappés Haïti en septembre-octobre 2008 avec des conséquences dévastateurs, des milliers de morts et la destruction de quartiers urbains, berges de rivières, périmètres irrigués et d'autres exploitations agricoles.

L'approche de certains projets courants tel que le Programme National de Gestion des Bassins Versants (PNGBV), le Développement Économique pour un Environnement Durable (DEED) et tout dernièrement l'Initiative de Bassin Versant pour les Ressources Naturelles Nationales (WINNER) se basent conceptuellement sur l'aménagement des bassins versants comme unité d'intervention. Ces investissements utilisent **l'incitation du marché à promouvoir des cultures pérennes comme alternative aux cultures érosives** afin de protéger les bassins versants et réduire le niveau de pauvreté des agriculteurs. Ces investissements en cours sont prometteurs mais il reste encore à savoir si cette approche peut aboutir à la protection tangible des bassins versants tout entiers.

5. Conclusion

Les leçons qu'on peut tirer d'une lecture des éléments d'histoire des programmes de la conservation des sols et de l'eau en Haïti sont les suivantes :

- **L'économie paysanne de conservation** : coûts et bénéfices : La conservation du sol et la protection de l'environnement ne sont pas forcément les objectifs du premier ordre des paysans de morne en Haïti et surtout quand il s'agit d'investir de leur propres ressources limitées. Par contre, les paysans de morne se sont montrés prêt à adopter assez rapidement des pratiques antiérosives quand ces pratiques génèrent des bénéfices tangibles économiques à court et moyen termes.
- Donc le grand défi n'est pas la conscientisation générale en faveur de la protection de l'environnement mais tout simplement **la rentabilité des approches durables**. Le technicien qui propose des innovations doit faire preuve au cultivateur du lien pratique entre l'investissement de conservation et l'augmentation des bénéfices dans l'immédiat.
- * Proposer des innovations à partir des éléments familiers aux paysans ou bien qui sont compatibles avec les pratiques courantes paysannes.
- **Proposer des techniques économiquement accessibles au petit cultivateur** en évitant autant que possible des dépenses en argent liquide.
- **Gestion des risques**. La technique proposée devra être gérable du côté paysan ne débordant pas sa capacité de risque comme facteur primordial des décisions agricoles paysannes.
- **Identifier des cibles d'opportunité économique** comme point de départ de la lutte antiérosive, alors des îlots de production supérieure par exemple les sites de production les plus producteurs aux environs de l'habitat tel que les *jaden nan lakou*

et *jaden prè kay*, des ravines humides de plantations pérennes, des champs irrigués, et des poches de fertilité en ravines corrigées.

- Pour maximiser l'impact il est impératif de **concentrer les efforts géographiquement**, atteignant une masse critique de planteurs d'une zone et ciblant pour le traitement antiérosif des sites de haute priorité économique aussi bien que des sites de risque élevé.
 - Faire la vulgarisation **des techniques de conservation à base des incitations intrinsèques**, et surtout économiques, tout en évitant la dépendance sur des incitations extrinsèques et artificielles de projet.
 - Comme méthode d'organisation à la base, utiliser une **approche participative** auprès des bénéficiaires et parties prenantes.
 - **Utiliser le principe de subsidiarité pour des actions collectives** ou publiques et pour les plans locaux d'aménagement, c'est-à-dire, la responsabilité organisationnelle doit être allouée à la plus petite entité capable de résoudre le problème, par exemple les parties prenantes d'une ravine, d'un micro bassin versant, d'un petit périmètre irrigué.
- * Les paysans haïtiens et projets ont eu historiquement un certain succès parfois à l'établissement et l'entretien des cultures pérennes et des structures de conservation au niveau parcellaire. A raison de la fragmentation des parcelles paysannes, **le défi primordial rarement achevé est le traitement de toutes les parcelles contiguës d'un flanc de morne, d'une ravine, d'un micro bassin versant ou d'un bassin versant au sens plus large.**
- **Le charbon comme opportunité au reboisement des pentes.** Le marché de charbon n'est pas forcément l'ennemi à la transformation des paysages. La gestion durable des boisements destinés à la fabrication du charbon et d'autres produits peut inciter le reboisement, surtout dans des zones semi-arides.

D'une façon générale l'innovation antiérosive peut réussir dans des circonstances où les innovations se construisent sur des pratiques déjà familières aux paysans et sont accessibles par application de la main d'œuvre avec très peu de coût monétaire, et surtout avec le résultat tangible d'une augmentation significative des revenus.

Un facteur critique est la mobilisation de la main d'œuvre nécessaire à l'établissement des structures de conservation. Pour la grande majorité de petits paysans la stratégie de mobilisation de main d'œuvre la meilleure réussie est l'exploitation des groupes rotatoires tels que les *eskwad*, petits groupements indigènes de cultivateurs qui travaillent régulièrement ensemble par rotation et qui partagent également entre eux les bénéfices et les risques du travail de groupe.

Références bibliographiques

Bloch, P., V. Lambert, N. Singer, and G. Smucker. 1988. Land tenure issues in rural Haiti: Review of the evidence. LTC Research Paper 94. Land Tenure Center, University of Wisconsin, Madison, Wisc Verner Verner (Banque Mondiale, 2008) et la

Ehrlich, M., F. Conway, N. Adrien, F. LeBeau, L. Lewis, H. Lauwerysen, I. Lowenthal, Y. Mayda, P. Paryski, G. Smucker, J. Talbot, and E. Wilcox. 1985. *Haiti country environmental profile: A field study*. Port-au-Prince, Haiti: U.S. Agency for International Development.

- McLain, R. J., D. M. Stienbarger, and M. O. Sprumont. 1988.** Land tenure and land use in southern Haiti: Case studies of the Les Anglais and Grande Ravine du Sud watersheds. LTC Research Paper 95. Land Tenure Center, University of Wisconsin, Madison, WI.
- Moral, Paul. 1961.** *Le Paysan Haitien: Etude sur la vie rurale en Haiti*. Port-au-Prince, Haiti: Les Editions Fardin.
- MPCE/BID, République d'Haïti, Ministère de la Planification et de la Coopération Externe. 2004.** Carte de Pauvreté. Banque Interaméricaine de Développement (BID).
- Murray, Gerald F. 1979.** Terraces, trees, and the Haitian peasant: Twenty-five years of erosion control in rural Haiti. USAID/Haiti.
- Murray, Gerald F. and Michael Bannister. 2004.** Peasants, Agroforesters, and Anthropologists: A 20-year venture in income-generating trees and hedgerows in Haiti. *Agroforestry* 61: 383-397. The Netherlands: **Kluwer Academic Publishers.**
- Smucker, Glenn R. 2001,** *Farm to Market: Conservation Farming in Haiti*, PADF-PLUS, Haiti.
- _____. **2002,** *Historique de la conservation des sols et de l'eau en haïti*. Proceedings, Soil and Water Conservation in Haiti: Making it Sustainable. Pétion-Ville. December 19-19, 2001. USDA and USAID
- _____. **2003,** Do Small Farmers in Haiti Invest in NRM without External Subsidy? A Post-Project Review. DAI/HAP.
- Smucker, Glenn R., Editeur, et M. Bannister, H. D'Agnes, Y.Gossin, M. Portnoff, J Timyan, S.Tobias, R. Toussaint. 2007.** Environmental Vulnerability in Haiti. Findings and Recommendations. US Forest Service, USAID/Haiti.
- Smucker, Glenn R., Marc-Antoine Noel, Jean-André Victor. 2007.** Environmental Risks and Opportunities in Haiti: A Background Analysis. USAID/Haiti.
- Smucker, Glenn R., Editeur, et Gardy Fleurantin, Mike McGahuey, Ben Swartley. 2005.** Agriculture in a Fragile Environment: Market Incentives for Natural Resource Management in Haiti. USAID/Haiti.
- Smucker, G., T. White, and M. Bannister. 2002,** "Land Tenure and the Adoption of Agricultural Technologies in Rural Haiti." In R. Meinzen-Dick *et al* (eds.), *Innovation in Natural Resource Management: The Role of Property Rights and Collective Action in Developing Countries*, Baltimore: Johns Hopkins University Press and International Food Policy Research Institute.
- Verner, Dorte. 2008.** Making Poor Haitians Count: Poverty in Rural and Urban Haiti Based on the First Household Survey for Haiti. Policy Research Working Paper 4571, The World Bank.
- White, T. A., and J. Jickling. 1992.** *An economic and institutional analysis of soil conservation in Haiti*. Environment Department Divisional Working Paper Number 1992-33. Policy and Research Division, Environment Department. Washington, D.C.: World Bank.
- Wiens, T., and C. Sobrado. 1998.** Rural poverty in Haiti. In *Haiti: The Challenges of Poverty Reduction*. Poverty Reduction and Economic Management Unit and Caribbean Country Management Unit, Latin American and the Caribbean Region. Report Number 17242 HA. Washington, D.C.: World Bank.

Stratégie de lutte anti-érosive dans la Sierra Madre Occidentale (Mexique)

Jose Luis Gonzalez Barrios¹, Luc Descroix²

¹ INIFAP, CENID-RASPA, A.P. 225-3 Parque Industrial, Gómez Palacio Durango 35071 México gonzalez.barrios@inifap.gob.mx

² IRD, LTHE, BP53, 38041 Grenoble, France. luc.descroix@ird.fr

Résumé

Des travaux menés depuis les années 1990 ont mis en évidence une phase d'érosion accélérée dans de nombreuses régions de zone aride et semi-aride du Nord du Mexique. Ces zones représentent 53% du territoire mexicain, et tout le nord du pays. Les changements d'usage des sols et des spécialisations spéculatives, ainsi qu'un élevage parfois « prédateur » ont fortement dégradé de grandes étendues de ses milieux fragiles. Cette dégradation est notoire dans les zones de montagne pourtant plus humides, car la pente entraîne un ruissellement accru et celui-ci s'accompagne du départ des éléments fins, les plus fertiles, des sols.

Cet appauvrissement des sols et des capacités productives de ce château d'eau a pour conséquences :

- l'émigration des habitants du Nord vers les principales villes ou vers l'étranger,
- la réduction des ressources des populations rurales ce qui aggrave leur marginalisation,
- une modification du bilan de l'eau et une menace pour l'approvisionnement des zones aval arides. En effet, l'érosion des sols réduit leur capacité de rétention en eau des sols et rend les écoulements plus irréguliers, en accélérant les écoulements immédiats (écoulement de crue) et en réduisant l'écoulement de base, celui qui est le plus utile en aval,
- le colmatage des retenues hydroélectriques,
- la diminution des infiltrations en amont pourrait donc réduire la recharge naturelle de l'aquifère de la Laguna, au sud du désert de Chihuahua (Brouste, 1996).

Des mesures de conservation ont commencé à être appliquées dans certains secteurs pilotes et montrent des résultats encourageants. Nous montrons ici un exemple de ce que peuvent être des « services éco-systémiques », appelés au Mexique des « services environnementaux hydrologiques » et leur mise en œuvre.

Mots clés : Sierra Madre Occidentale, lutte anti-érosive, surpâturage, déboisement, ravinement, érosion en nappe

Introduction

Des travaux menés depuis les années 1990 ont mis en évidence une phase d'érosion accélérée dans de nombreuses régions de zone aride et semi-aride du Nord du Mexique. Ces zones représentent 53% du territoire mexicain, et tout le nord du pays. Les changements d'usage des sols et des spécialisations spéculatives, ainsi qu'un élevage parfois « prédateur » ont fortement dégradé de grandes étendues de ses milieux fragiles. Cette dégradation est notoire dans les zones de montagne pourtant plus humides, car la pente entraîne un ruissellement accru et celui-ci s'accompagne du départ des éléments fins, les plus fertiles, des sols.

Cet appauvrissement des sols pourrait accélérer l'émigration des habitants du Nord vers les principales villes ou vers l'étranger, en tout cas il réduit les ressources des populations rurales et peut aggraver leur marginalisation. Par ailleurs, les montagnes, et en particulier la Sierra Madre Occidentale, constituent des châteaux d'eau. On peut donc supposer que la surexploitation des terres et les modifications de leurs propriétés physiques pourraient à terme

modifier le bilan de l'eau et menacer l'approvisionnement des zones aval arides. En effet, l'érosion des sols réduit leur capacité de rétention en eau et rend les écoulements plus irréguliers, en accélérant les écoulements immédiats (écoulement de crue) et en réduisant l'écoulement de base, celui qui est le plus utile en aval. Par ailleurs les matériaux arrachés à la montagne tendent à colmater les retenues hydroélectriques et réduit leur capacité de stockage dont dépendent des grands périmètres irrigués, tant sur la plaine côtière du Pacifique (désert du Sonora et ses abords) que sur l'altiplano nord-central (désert de Chihuahua). De plus, une grande partie des eaux souterraines de cet altiplano provient aussi de la Sierra Madre Occidentale ; la diminution des infiltrations en amont pourrait donc réduire la recharge naturelle de l'aquifère de la Laguna, au sud du désert de Chihuahua (Brouste, 1996).

Des recherches menées depuis 15 ans ont permis de mesurer l'érosion actuelle dans le haut bassin du Nazas (Sierra Madre Occidentale, Mexique). On a ainsi mesuré des taux d'érosion de plusieurs mm par an dans les secteurs les plus dégradés. La dégradation est causée principalement par le surpâturage. Le seul piétinement du bétail s'est avéré entraîner un tassement notoire du sol, en modifiant la structure et facilitant le ruissellement et le départ de ses éléments fins. On a pu montrer que l'érosion aréolaire était de deux ordres de grandeur supérieure à l'érosion causée par les ravines, soit 1,85 mm/an de lame érodée par érosion aréolaire contre 0.009 mm/an par érosion linéaire (Descroix et al., 2008); ce qui n'empêche pas la formation de ravines profondes (voir photos ci-dessous).

Des mesures de conservation ont commencé à être appliquées dans certains secteurs pilotes et montrent des résultats encourageants. Nous montrons ici un exemple de ce que peuvent être des « services éco-systémiques » appelés « services environnementaux hydrologiques » et leur mise en œuvre.

La zone d'étude

La zone d'étude est le haut bassin du Rio Nazas, en amont du réservoir de Palmito, au cœur de la Sierra Madre Occidentale. Elle s'étend sur 17000 km² dans l'état de Durango entre 24° et 26.5° de latitude nord et 106.5° à 105° de longitude Ouest. La topographie y est assez accidentée sur les Hauts versants et plus ondulée vers l'est en s'approchant de l'altiplano. L'altitude maximale dépasse à peine 3000 m (3130 m) alors que le barrage de Palmito est situé à 1500 m environ figures 1 et 2).

Le climat est continental semi-aride et comprend une saison des pluies importante de juin à septembre, puis une petite saison des pluies d'hiver d'octobre à janvier, bien plus irrégulière que la première. La période de février à mai est très sèche. La pluviométrie annuelle varie de 900 mm sur les crêtes à 400 mm dans le fond des vallées.

Les sols sont essentiellement des phaeozems, des cambisols et des leptosols, développés sur des roches volcaniques éruptives (ignimbrites, rhyolite et tufs associés).

La végétation est une savane d'altitude avec acacias, prosopis et épineux dans les zones sèches, peu à peu remplacée par une forêt claire puis plus dense de chênes jusqu'à 2200 mètres, puis de chênes et de pins ; ces derniers demeurent seuls au dessus de 2500 mètres.

Le haut bassin du Nazas est constitué des deux branches de ce cours d'eau, le rio Sextin au nord et le rio Ramos au Sud ; ces deux cours d'eau et leurs affluents coulent dans des dépressions souvent larges orientées NNO-SSE comme l'axe de la chaîne, axe structural et tectonique commandé par la formation de la Sierra Madre (figure 2). Pour sortir de ces dépressions et se diriger vers l'altiplano, ces cours d'eau ont creusé des gorges à travers les empilements épais de rhyolites. Une fois sortis de ces derniers, les cours d'eau coulent à travers la zone ondulée vers le bassin endoréique de la Laguna. Au confluent des deux cours d'eau principaux, les eaux sont bloquées par le barrage Lázaro Cárdenas qui retient le lac de Palmito dont la capacité totale est de 4 milliards de m³ d'eau.

Le haut bassin du Rio Nazas connaît une activité essentiellement agro-pastorale, tirant profit de grandes étendues de pâturages ; les cultures sont concentrées dans certaines dépressions aux sols plus épais, et produisent surtout du maïs et de l'avoine destinées à compléter l'alimentation du bétail ; ce dernier est la principale spéculation de la région, et consiste en un élevage naisseur et d'embouche de veaux destinés essentiellement au marché états-unien.

Ces dernières décennies, cette région a été affectée par un très fort changement d'usage des sols, qui s'est traduit par une augmentation des surfaces occupées et déboisées, et une forte augmentation de l'utilisation des ressources eau, sol et végétation. Cela a provoqué un déséquilibre entre la capacité du système et la charge réelle imposée aux pâturages. Ce qui a conduit à une dégradation sévère du patrimoine naturel et des ressources, du fait de surpâturage. On remarque depuis une très forte érosion des sols et la diminution des écoulements de base des cours d'eau (liée à la baisse de la capacité de rétention en eau des sols liée à leur surexploitation), ceux là même qui sont si utiles lors de la longue saison sèche.

Problématique : Impacts des systèmes productifs et du changement climatique

La vulnérabilité du milieu physique de la zone d'étude a fait l'objet de nombreux travaux de recherche (Descroix & Nouvelot, 1997; Descroix et al., 2000a; González Barrios et al., 2004). Les recherches les plus récentes se sont consacrées à l'étude de la surface du sol et la couverture végétale, qui jouent un rôle déterminant dans l'hydrodynamique de l'eau de pluie et les processus d'infiltration, de ruissellement et d'érosion (Descroix et al., 2008; González Barrios et al., 2008; González Barrios et al., 2009b).

Les études consacrées aux changements d'usage des sols et leurs conséquences sur les états de surface ont montré que la diminution de la couverture végétale augmentait logiquement la sensibilité aux processus d'érosion et au ruissellement généralisé (Descroix et al., 2000b; Descroix et al., 2001; Descroix et al., 2004).

Les résultats de ces travaux réalisés sur de petites zones d'observation (versants et bassins de 0,2 à 20 km²) ont permis de mesurer une perte en sol annuelle par érosion aréolaire (en nappe) de 2,87 kg par m², soit une lame érodée de 1,85 mm par an. L'érosion linéaire, en ravine, se chiffre à 1,27 tonnes par m² si on ne prend en compte que la surface de la ravine, soit 91 cm par an d'ablation !! (Gonzalez Barrios, et al., 2005). Mais l'espace occupé par des ravines est minime par rapport à l'ensemble des pâturages qui sont eux presque intégralement soumis à l'érosion en nappe. On a pu montrer que dans les sols comportant la plus forte proportion de limons, et pour les grands bassins versants (de plusieurs milliers de km²), la valeur de l'érosion en nappe peut être jusqu'à deux ordres de grandeur plus forte que l'érosion causée par les ravines (Descroix et al., 2008). On observe, plus rarement, l'existence de tunnels de suffosion dans les pâturages.

Mais ces valeurs présentent une forte variabilité spatio-temporelle en fonction de la pluviométrie annuelle et de l'état de surface du sol (Descroix & Poulénard, 1995). L'étude de l'érosion hydrique en nappe et en ravines a donné lieu à des propositions de mesures de suivi plus adaptées aux processus érosifs (Descroix et al., 1997b; González-Barrios et al., 2007), ainsi qu'à la recommandation de mesures palliatives et correctives à court et moyen terme (Sánchez Cohen et al., 2009a; Gonzalez Barrios, et al., 2009a).

Les recherches se sont intéressées aussi aux formes et intensités de l'activité d'élevage ; elles permettent de mettre en relation les zones les plus dégradées de l'espace avec celles où la charge bétailière a été la plus forte, jusqu'à quatre fois plus élevée que celle autorisée par la capacité naturelle des pâturages (Viramontes, et al., 2004). L'érosion est due principalement

au surpâturage et au piétinement du bétail qui provoquent un tassement et une compaction du sol, en modifiant ainsi la structure et facilitant le ruissellement et le départ des éléments fins (Descroix et al, 2005).

Ont aussi été étudiées les caractéristiques naturelles du milieu physique qui expliquent l'accélération de la dégradation physique du milieu. Il s'agit essentiellement du type de sol, de la taille de la surface drainée (ou aire contributive), de l'intensité de la pluie et des états de surface.

Les recherches se sont orientées aussi vers l'étude des variables hydro-climatiques et leurs relations avec l'usage et la gestion de la ressource en eau, sol et végétation. Les aléas climatiques comme les gelées, les grêles, le début ou la fin de la saison des pluies, la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et de son intensité, les températures extrêmes ont pu provoquer une succession de conséquences sur le milieu physique et humain de cette région (Descroix et al., 1997a; Descroix et al., 2002a; Sánchez Cohen et al., 2008; Sánchez Cohen et al., 2009b).

Objectifs

Ces travaux ont inspiré l'instrumentation destinée aux programmes d'action destinés à contrôler le problème de l'érosion avec une vision environnementale et socio-économique. Il s'agit de donner un revenu aux agriculteurs qui acceptent de construire des ouvrages de conservation du sol et de l'eau pouvant dégager une plus value environnementale et hydrologique. Le but de tous ces aménagements est multiple ; il s'agit en particulier de :

- réduire l'érosion des sols
- maintenir les sources, les débits de base et la qualité des eaux
- contenir les risques de crue et inondation
- préserver la capacité de recharge des aquifères

Cela tout en maintenant la population sur place et en lui proposant du travail.

Matériel et méthodes

Le PSAH (Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos, ou Programme de Services Environnementaux en Hydrologie) est porté par le service des forêts, le ministère de l'environnement et l'Etat de Durango. Les ouvrages et actions qu'il finance sont :

- la constitution de bourrelets de déchets végétaux sur les versants et suivant les courbes de niveaux pour freiner le ruissellement et l'érosion et augmenter l'infiltration et l'humidité du sol ;
- la construction de seuils ou petits barrages en matériaux divers (pierres, résidus végétaux, pneus usagés, sacs de terre ou de sable) sur les têtes de ravines et les ruisseaux afin de piéger les sédiments ;
- la préservation de secteurs boisés ou arbustifs pour limiter l'érosion et favoriser l'infiltration de l'eau et la recharge de l'aquifère.

Le tableau 1 donne le coût unitaire des différents travaux de LAE (lutte anti-érosive) tels que proposés et effectués à ce jour.

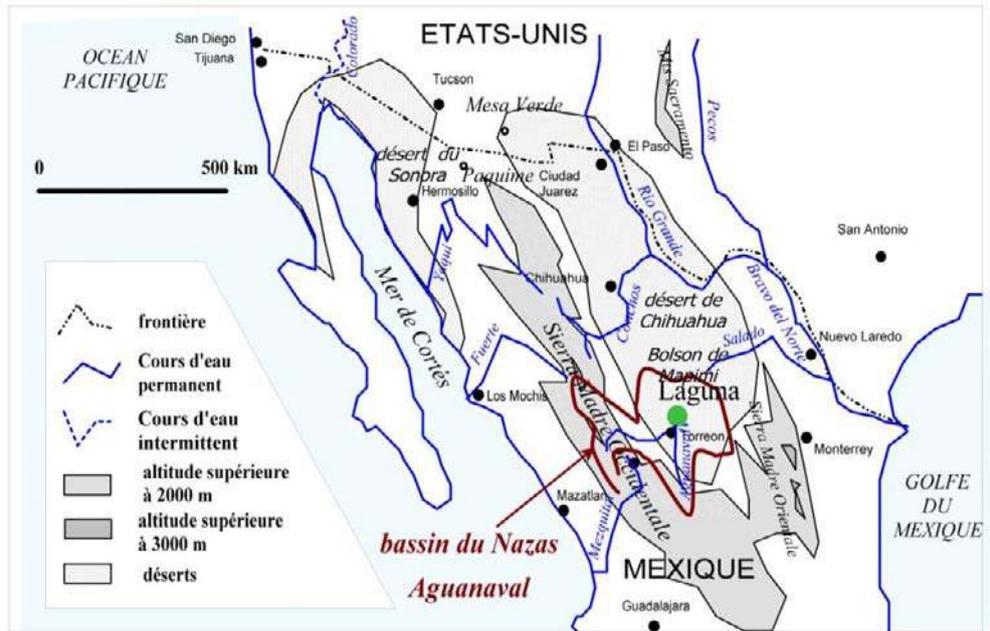


Figure 1 : localisation du bassin Nazas-Aguanaval dans le contexte nord-mexicain

Figure 2 : carte du haut bassin du Nazas, avec la localisation des villages dans le terroir des quels ont été effectués les travaux de LAE

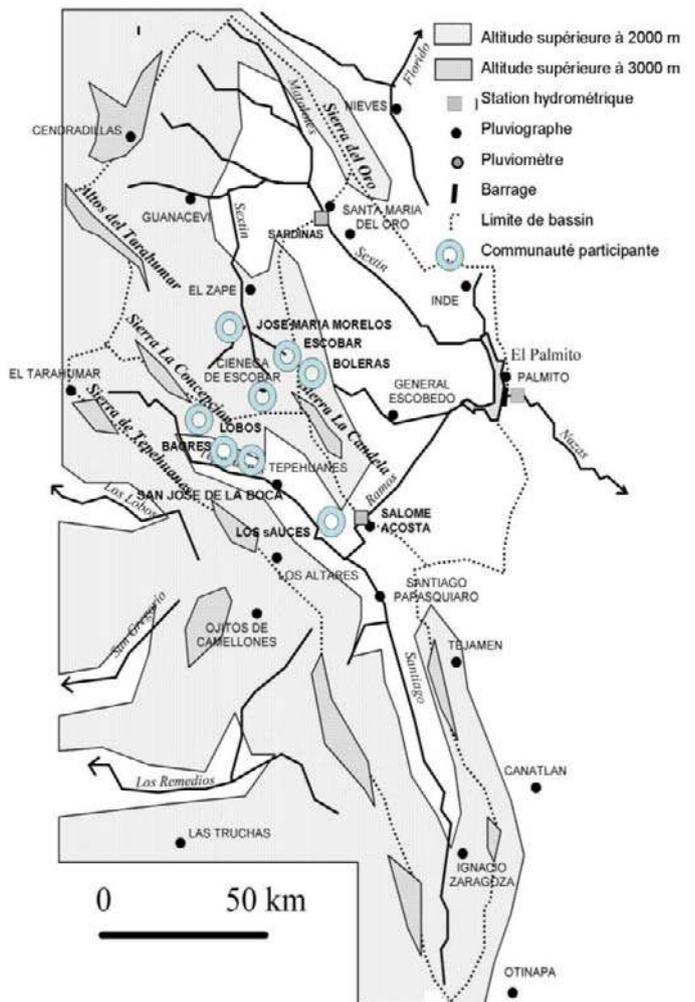


Tableau 1 : coût de chaque type d'ouvrage de LAE

	pesos	euro
barrage de branches d'arbres (2 X 1 m)	74	3,85
1 m3 de barrage de pierres	423	22
1 m3 de barrage en sacs de sable	259	13,5
1 m3 de barrage de sacs de sable en géotextile	429	22,3
barrage de pneus	331	17,2
1 m3 de barrage en maçonnerie	922	47,9
barrage en gabions	614	31,9
100 m de terrasses en pierres sèches	443	23,0
100 trous pour plantation d'arbres	180	9,4
100 m de tranchée/talus	388	20,2
100 m de haie coupe vent végétale	1623	84,4
100 m de bourrelets de déchets végétaux	169	8,8
1 ha de reboisement	895	46,5
200 m de cordon pierreux	136	7,1
6 m ² de pavage de tête de ravine	69	3,6

Résultats

En 2005, le gouvernement fédéral mexicain ainsi que l'état de Durango se sont mis d'accord pour mettre en route le programme de services environnementaux hydrologiques (PSAH) dans le but de restaurer le milieu naturel par la réalisation d'ouvrages de conservation testés avec succès pour retenir le sol, l'humidité et de cette manière faciliter la reprise de la végétation, maintenir la qualité et la quantité d'eau d'écoulement et redresser la recharge des nappes phréatiques.

Le programme PSAH comprend la participation de la Commission nationale forestière (CONAFOR, équivalente de l'ONF - Office National des Forêts français), le ministère de l'Environnement (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, SEMARNAT), le service en charge de la protection de la Nature (Procuraduría de protección al ambiente, PROFEPA), le ministère des ressources naturelles et de l'environnement de l'Etat de Durango (Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno de Durango, SRNYMA), les municipalités concernées par les zones traitées par le programme (Unidades de aprovechamiento forestal de las comunidades forestales) c'est à dire celles qui ont souhaité y participer et ont soumis au programme la candidature de secteurs de leur commune propices pour réaliser les ouvrages proposés. Ces derniers sont décrits dans un manuel des "ouvrages et pratiques" proposé par la CONAFOR, coordinatrice du programme. Les étapes du programme sont suivies sur le terrain par un responsable du Bureau d'étude prestataire de services.

Le tableau 2 liste l'ensemble des ouvrages réalisés durant le programme PSAH.

Tableau 2 : liste des actions réalisées de 2006 à 2010 par le programme PSAH

ouvrages	2006	2007	2008	2009	Total
panneaux d'information	63	8	0	4	75
aménagements en cordons végétaux (ha)	2380	2522	1926	956	7784
Clôtures (km)	52	12	104	0	168
équipements pour brigades de pompiers	0	9	1	1	11
tranchée (X 250 ha)	0	0	192	20	212
cordons pierreux (m3)	0	0	350	4010	4360
Barrage filtrant en pierre (m3)	2320	2620	3530	3524	11964
Barrage filtrant en pneus (m3)	0	0	900	160	1060
empierrements têtes de ravines (m2)	880	1250	1550	2885	6565
reboisement (ha)	0	0	2508	0	2508
traitement anti-incendie (mois de travail)	6	36	45	48	135
débranchages préventifs (ha)	0	0	30	0	30
lutte contre les plaies (journées de travail)	300	316	16	39	671
tranchées pare feu (km)	0	0	15,6	56	71,6

Le programme a commencé modestement en traitant une surface de 4000 hectares (une communauté rurale, en 2006). Devant le succès et la réponse importante obtenue auprès des habitants des communautés ayant bénéficié du programme, il a pris de l'ampleur pour concerner 8 communautés et 14 500 hectares de plus à fin 2009.

La main d'œuvre a été payée pour exécuter le programme, avec un bon salaire (l'équivalent d'environ 22 euros par journée de travail), ce qui a été attractif et a permis de mobiliser

l'essentiel de la force de travail disponible dans ces communautés ; des hommes et des femmes de 16 à 70 ans y ont participé.

Les ouvrages et actions suivants ont été réalisés :

- mise en andains de matière végétale, branchages et déchets végétaux provenant de la taille d'arbres et d'arbustes, destinée à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau, augmenter l'humidité du sol, diminuer l'érosion et créer les conditions favorables à la régénération naturelle de la végétation
- construction de petits barrages et seuils en matériaux divers (pierres, matériel végétal, pneus usagés, sacs de sable et de terre) pour réduire la vitesse de l'écoulement de l'eau et les pertes en sol ;
- installation de dispositifs de contrôle de l'érosion en nappe et du ravinement : aménagements de terrasses et d'andains de bois sec et mort et de brindilles et autres déchets végétaux, traitement des têtes de ravines et couverture des talus de sol nu par des manteaux de pierres ;
- promotion de la conservation d'aires de végétation naturelle ou reboisée afin d'éviter la perte de végétation et de faciliter une infiltration maximale de l'eau dans le sol ;
- installation de panneaux enseignant les bonnes pratiques agro-forestières et la convivialité des activités agro-sylvo-pastorales avec le milieu forestier et appelant à venir en aide au programme pour la conservation et la protection de la forêt en évitant les coupes et tailles sauvages, le dépôt d'ordures et les incendies de forêts ;
- installation de panneaux d'avertissement pour une meilleure vigilance permanente du milieu forestier par l'autorité en charge de l'environnement.

Ce programme de services environnementaux a débuté avec un financement et une durée déterminés qui ont servi à aider et appuyer les communautés pendant cinq ans (2006-2010). La surface initiale de 4000 hectares a été étendue ensuite comme signalé plus haut.

Les photos ci-dessous montrent quelques uns de ces ouvrages, réalisés dans différentes communautés rurales ainsi que le travail de ces villageois, organisés en équipes de travail, qui aident à récupérer progressivement le patrimoine naturel qui était en perdition.

A ce jour, le programme, qui porte sur 8 villages de la région, a pu assurer le traitement de 18500 hectares de terrain. Les photos ci-dessous montrent les travaux en cours ou achevés :

- Cordons pierreux (photo 1)
- Empierrement de têtes de ravine (photo 2)
- Barrages en pneus (photo 3)
- Barrages végétaux (photos 4)
- Cordons de débris végétaux (photo 5)
- Terrasses empierrées (photos 6 et 8)
- Barrages en pierres (photo 7)

L'évaluation des effets de ces ouvrages de conservation des sols et de l'eau est en cours, mais les résultats qualitatifs sont évidents dès la première saison des pluies. En effet, le programme PSAH vient de s'achever (fin 2010) dans ces communautés rurales pilotes avec des résultats satisfaisants qui sautent aux yeux sur le terrain : rétention de sol et d'eau, regain de la végétation, restauration progressive de l'écosystème, uniformisation et restauration de zones fractionnées par la dégradation, limitation de l'exode rural par maintien des paysans sur place...



1



2

Photo 1 : cordon
pierreux

Photo 2 : empierrement
de tête de ravine



3



4

Photo 3 : barrage en
pneus usagés

Photo 4 : barrages
végétaux



5



6

Photo 5: cordon de
débris végétaux

Photo 6 : terrasses
empierrées



7



8

Photo 7 : barrages en
pierre

Photo 8 : équipe de
travail posant devant des
terrasses empierrées

Conclusion

Le travail est trop récent pour avoir des estimations chiffrées mais l'amélioration qualitative des secteurs traités est manifeste en termes de rétention des sols et des eaux, ce qui est positif et encourageant.

Toutefois, le programme doit céder sa place dès 2011 à une phase différente et autofinancée des travaux de conservation, afin de pouvoir maintenir les superficies restaurées et d'en étendre le périmètre aux communes et communautés voisines afin de pérenniser ces services environnementaux. Cela signifie impliquer plus de main d'œuvre mais aussi la recherche de moyens financiers pérennisables pour les mener à bien.

Remerciements

Nous remercions le PSAH Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos qui a fait appel à notre expertise et nous a fourni les données chiffrées des travaux réalisés et les coûts de ses réalisations

L'INIFAP et l'IRD ont soutenu financièrement cette étude.

Références:

Brouste, L. (1997). Hydrochimie et géochimie isotopiques de la nappe phréatique de la Comarca Lagunera (Nord-Mexique). Tesis doctoral de la Universidad Paris11-Orsay, 225 p.

Canales, E. (2009) Servicios ambientales, análisis de dos casos. En: Memorias del 7° encuentro sobre biodiversidad y desarrollo sostenible en la laguna. ITESM Campus Laguna. Torreón Coahuila, México.

Descroix, L. & J.F. Nouvelot (1997) Escurrimiento y erosión en la Sierra Madre Occidental. Folleto científico No. 7 CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango, México.

Descroix, L., J.F. Nouvelot, J. Estrada (1997a) Geografía de las lluvias en una cuenca del Norte de México: Regionalización de las precipitaciones en la Región hidrológica 36. Folleto científico No. 8 CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango, México.

Descroix, L., P.Y. Guédez, J. Poulénard (1997b) Méthodes de mesure de l'érosion actuelle: applications dans les Préalpes du Sud (France) et la Sierra Madre Occidentale (Mexique) Bull. du Réseau Erosion No.17, 239-254.

Descroix, L., D. Viramontes, E. Anaya, J. Poulénard, J.L. González-Barrios (2000a) L'impact du surpâturage et du déboisement sur l'érosion des sols dans la Sierra Madre Occidentale Bull. du Réseau Erosion No.20, 218-231

Descroix, L., S. Dignonnet, J.L. González-Barrios, D. Viramontes, A. Bollery (2000b) Local factors controlling gully or areal erosion in the Sierra Madre Occidental (Northern Mexico). In: Abstracts of the International Symposium on gully erosion under global change. European Soc. for Soil Conservation, Catholic Univ. of Louvain, April 2000. Brussels, Belgium

Descroix, L., D. Viramontes, M. Vauclin, J.L. González-Barrios and M. Esteves (2001) Influence of soil surface features and vegetation on runoff and erosion in the Western Sierra Madre (Durango, Northwest Mexico). CATENA Vol. 43(2), 115-135

Descroix, L., J. F. Nouvelot and M. Vauclin (2002a) Evaluation of an antecedent precipitation index to model runoff yield in the Western Sierra Madre (North-west Mexico). J. of Hydrology 263(2000), 114-130

- Descroix, L., J. L. González Barrios, J.P. Vandervaere D. Viramontes, A. Bollery (2002b) An experimental analysis of hydrodynamic behavior on soils and hillslopes in a subtropical mountainous environment (Western Sierra Madre, Mexico). *Journal of Hydrology* 266(2000),1-14
- Descroix, L., J.L. Gonzalez Barrios, D. Viramontes and M. Esteves (2004) Gully erosion and land use changes on the hillslopes of the western sierra madre. In: *Gully erosion under global change* (edited by Y. Li, J. Poesen, & C. Valentin) Chapter 12, 163-174. 1st Edition Sichuan Science and Technology Press, Chengdu, China.
- Descroix, L. & J. Poulénard (1995) Les formes d'érosion dans la Sierra Madre Occidentale (Nord Ouest du Meique). *Bull. Labo.Rhod. Géomorph. Lyon, France.* 33-34,1-19
- Descroix, L., A-L Besnier, E. Gauthier. O. Amogu, D. Viramontes, J. L. Gonzalez Barrios (2005) Sediment budget as evidence of land-use changes in montaineous areas: two stages of evolution In: *Sediment Budgets 2* (Ed. by Horowitz, A.J. and Des E. Walling) 262-270. IAHS Publ. 292, IAHS Press. Wallingford, UK.
- Descroix, L., J.L. González Barrios, D. Viramontes, J. Poulénard. E. Anaya, M. Esteves, J. Estrada (2008) Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect. *CATENA* 72 (2008), 325-339
- Hardin G. (1968) The tragedy of the commons. *Science* 162(1968):1243-1248.
- Inard Lombard, B. (2004) Una Montaña en vías del abandono? En: *La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada* (Ed. by L. Descroix, J.L. González Barrios & J. Estrada) Capitulo 2, 65-83. Ediciones INIFAP-IRD, Gómez Palacio, Durango, México.
- González Barrios, J. L., L. Descroix, D. Viramontes, J. Poulénard, A. Plenecassagne, L. Macias, Ch. Boyer, A. Bollery, R. Jasso Ibarra (2004) Condiciones que favorecen la erosión y el escurrimiento en manto. En: *La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada* (Ed. by L. Descroix, J.L. González Barrios & J. Estrada) Capitulo 7, 161-178. Ediciones INIFAP-IRD, Gómez Palacio, Durango, México.
- González Barrios, J. L., J. Estrada Avalos, G. González Cervantes, R. Jasso, I. Sánchez Cohen, L. Descroix (2005) Erosión en cárcavas en la cuenca alta del río Nazas, impacto del cambio de uso del suelo. In: *Memorias del XIII Congreso Nacional de Irrigación, Mesa I. Hidrología y Manejo integrado de cuencas.* Acapulco, México.
- González Barrios, J.L., Juan Estrada Ávalos, Rodolfo Jasso Ibarra, Miguel Rivera González y Guillermo González Cervantes (2007) Metodología de observación de cárcavas de erosión en una cuenca hidrológica experimental. *Agrofaz* Vol. 7 (3), 115-123.
- González Barrios, J. L., J. A. Muñoz Villalobos, L. M. Valenzuela Núñez, M. Rivera González, J. Estrada Avalos, R. Trucíos Cacicano (2008) Erosión hídrica de suelo y carbono orgánico en la cuenca alta del Nazas. En: *Memorias de la XX Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED.* Noviembre 2008, 458-464. Gómez Palacio Durango, México
- González Barrios, J.L., R. Trucíos Cacicano, A. S. Mojica Guerrero, L.M. Valenzuela Núñez (2009a) Servicios ambientales hidrológicos en la Sierra de la Candela Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 2009 Vol. 8 (1), 43-48
- González Barrios, J. L., J. P. Vandervaere, L. Descroix, I. Sánchez Cohen (2009b) Impacto del cambio de uso de suelo en la hidrodinámica superficial de una cuenca receptora de agua. En: *Memorias de la Reunión Temática del Agua CONACYT.* Cocoyoc Morelos, Mexico.

Viramontes, D. (2000) Comportement hydrodynamique des milieux dans la Sierra Madre Occidentale: causes et conséquences de leur évolution. Thèse doctorale Université Joseph Fourier de Grenoble. Institut de Géographie Alpine, Grenoble, France

Viramontes, D., E. Anaya, C. García, J. Poulenard, H. Barral, L. Macías, M.G. Rodríguez Camarillo (2004) Demasiado ganado y demasiados leñadores: una economía minera. En: La Sierra Madre Occidental, una fuente de agua amenazada (Ed. by L. Descroix, J.L. González Barrios & J. Estrada) Capitulo 8, 183-193. Ediciones INIFAP-IRD, Gómez Palacio, Durango, México.

Sánchez Cohen, I., G. Díaz padilla, W.Ojeda, G. Chebhouni, I. Orona, J, Villanueva, J.L. Gonzalez Barrios, G. Gonzalez Cervantes (2008) Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. Ingeniería hidráulica en México. Vol. XXIII (4), 5-24

Sánchez Cohen, I., J. Cerano Paredes J, Villanueva, J. Estrada, J.L. Gonzalez Barrios, E. Cornejo (2009a) Evaluación de alternativas para la conservación de la cubierta vegetal en la parte alta de la cuenca Nazas-Aguanaval mediante el sistema de ayuda para la toma de decisiones (DSS). Agrofaz Vol.9 (5), 55-62

Sánchez Cohen, I., J. L González Barrios, G. Díaz Padilla, M. Velásquez Valle (2009b) Cambio climático y vulnerabilidad ecológica: Impacto en las variables hidrológicas de las cuencas. En: Manejo Comparado de Cuencas Hidrológicas; Incertidumbre Climática, Vulnerabilidad Ecológica y Conflicto Social (Comp. by J.L. González Barrios e I. Sánchez Cohen) 23-45. Ediciones SMCS CONACYT RETAC INIFAP RNIAS. Torreón Coahuila, México

Synthèse des principaux éléments des bilans effectués durant les quinze dernières années

Alex Bellande

Expert freeland, 16380 SW 293 STHomestead, FL 33033, USA.

Courriel : Abellande@aol.com

Depuis 1990, plusieurs bilans des expériences d'aménagement de bassins versants à l'échelle nationale ont été réalisés. Ils ont été commandités par différentes institutions bilatérales et multilatérales (principalement l'USAID et les agences du système des Nations-Unies) ou sont le produit d'universitaires et techniciens impliqués dans ce type d'intervention dans le pays. Pour les besoins de cette étude, nous en avons consulté sept. Nous retiendrons ici certains points de concordance entre ces différentes analyses sur des questions d'ordre technique, économique, social et institutionnel.

Les agriculteurs adoptent des techniques de culture protectrices de l'environnement quand elles génèrent des bénéfices économiques à court terme qui justifient l'investissement supplémentaire en travail ou en capital. Dans les conditions actuelles, la conservation des sols et la protection de l'environnement ne sauraient constituer des objectifs prioritaires pour les agriculteurs. Les structures antiérosives exigent un travail important (200-500 jours/ha.). On a donc intérêt à intégrer la promotion de cultures à forte valeur marchande et offrant des opportunités de revenu à court terme aux programmes d'aménagement.

Par rapport aux structures antiérosives établies sur les flancs de montagne, l'aménagement des ravines présente des avantages dans ce sens. Il permet dans un premier temps de « récolter » l'érosion et de créer rapidement des micro-milieus plus fertiles et humides qui peuvent être plus facilement rentabilisés. Certaines expériences récentes vont plus loin et associent des aménagements de ravines en maçonnerie à des petits ouvrages de stockage de l'eau (puits et citernes).

Le matériel végétal de départ pour les cultures à forte valeur marchande est toutefois souvent coûteux pour des agriculteurs disposant de faibles ressources. On a intérêt à en offrir gratuitement ou à des prix fortement subventionnés dans la plupart des situations. L'offre de matériel végétal doit aussi tenir compte des objectifs de minimisation des risques et de diversification des revenus des producteurs.

Les projets qui ont fourni gratuitement des espèces d'arbres adaptés aux conditions écologiques et aux différents besoins des exploitations paysannes ont connu certains succès. Les paysans plantent des arbres pour l'alimentation familiale, l'alimentation des animaux, la production de combustible, pour régénérer des espaces dégradés, pour constituer une épargne à long terme...Les arbres greffés particulièrement sont en forte demande, car ils permettent d'obtenir une production rapide et d'étaler les périodes de production quand il s'agit de variétés d'avant ou arrière saison.

Le développement de débouchés plus larges et de circuits commerciaux plus fluides et efficaces pour certains produits doit être considéré comme une composante importante d'une politique d'aménagement. On doit s'intéresser non seulement aux filières d'exportation, qui tendent à s'élargir avec le développement des échanges avec la République Dominicaine, mais aussi aux possibilités importantes qu'offre actuellement le marché local pour l'extension de cultures utiles sur le plan de la préservation de l'environnement. Depuis les années 1980, la demande urbaine en fruits à valeur calorique élevée (avocat, véritab, mangue...) est forte ainsi que celle de bois pour la construction et la fabrication de meubles.

D'autres opportunités de développement de filières rentables et durables doivent être investiguées. L'une d'entre elles pourrait être la culture de la canne à sucre en zone de basse montagne et sa transformation en sucre artisanal, sirop et clairin (alcool). On peut citer également le lait et ses produits dérivés, le maraîchage, la production d'huiles essentielles...La production de charbon peut aussi être développée à travers des systèmes d'exploitation durables.

Jusqu'à présent, les projets, même ceux qui comptent certaines réussites, n'ont jamais permis l'aménagement de l'ensemble d'un bassin versant. Un engagement des autorités nationales et locales en faveur d'actions sur le long terme et à différents niveaux sont nécessaires pour parvenir à ce résultat. On compte par contre de nombreux exemples de situations où les agriculteurs eux-mêmes, sans l'aide de projets, mettent en place des systèmes agro-forestiers plus ou moins denses au niveau de petites régions. Il est important de saisir les facteurs qui favorisent ou freinent l'extension de ce type de culture dans chacune des situations particulières.

L'intégration de groupements locaux existants ou la création de groupements spécifiques pour les aménagements peut faciliter le passage de l'échelon parcelle à un échelon supérieur. Par exemple, en regroupant les exploitants d'un micro-bassin versant ou ceux qui exploitent des tronçons sur la longueur d'une ravine. Les diverses formes d'échange de travail et d'autres services à l'intérieur des groupes peuvent faciliter la mise en place des aménagements. Toutefois, dans des situations où les rapports sociaux sont fortement hiérarchisés, certains groupements qui se posent en intermédiaires obligés des interventions peuvent aussi constituer un frein pour l'action.

La structure « projet » est mal adaptée aux exigences de la tâche. L'horizon de trois à cinq ans de la plupart des projets est trop court pour parvenir à des résultats significatifs. Il n'existe aucun exemple historique d'aménagement de bassins versants sur 5 ou même 10 ans. Les projets se caractérisent aussi souvent par des lourdeurs institutionnelles qui freinent l'action sur le terrain, un manque de continuité et sont sensibles aux « effets de mode ».

Il faut établir des priorités. Aménager les 350.000 has de pentes comprises entre 20 et 50% au rythme de 5.000 has. par an exigerait 70 ans. L'étude BDPA-SCETAGRI financée par la Banque Mondiale en 1990 proposait de définir des zones prioritaires en fonction de trois critères : zones au plus fort potentiel agronomique, pentes les plus faibles nécessitant

moins d'investissement, bassins versants où l'érosion risque d'avoir les effets les plus négatifs sur les infrastructures et l'activité économique. Le MARNDR et l'USAID ont également effectué des études dans ce sens.

Les questions foncières doivent être bien comprises. La sécurité de tenure est un facteur important dans la prise de décision d'un exploitant d'aménager une parcelle et constitue une contrainte significative à terme. Des nuances s'imposent toutefois. Même dans le cas de statuts qui théoriquement ne favorisent pas les investissements (fermage, métayage, certaines formes d'indivision), c'est en fait la perception qu'a l'agriculteur de la durée de sa jouissance qui est le critère primordial. La nature des rapports entre propriétaires et exploitants peut prendre diverses formes. Dans le court terme, il y a une marge importante pour l'aménagement de terrains où la sécurité de tenure est satisfaisante.

Il y a un besoin important de formation dans le domaine de l'aménagement des bassins versants. La complexité des problèmes à résoudre fait que les responsables et techniciens impliqués dans l'exécution des interventions doivent posséder un savoir et des savoir-faire qui relèvent de plusieurs disciplines : génie rural, agronomie, sciences sociales... La formation paysanne devrait faire une large part aux échanges entre agriculteurs de différentes régions.

Il n'y a pas toujours pas de solutions « prêt à porter ». Il y a effectivement des principes et des réussites dont on peut s'inspirer. Cependant, il convient d'adapter les interventions aux caractéristiques particulières à chaque situation et de continuer à évaluer et à capitaliser sur les résultats. Les différentes instances étatiques concernées ont un rôle important à jouer dans ce domaine.

Bibliographie

Bellande, A.; 2009. Impact socio-économique de la dégradation des terres en Haïti et interventions pour la réhabilitation du milieu cultivé. MDE/CEPALC/PNUD.

Bureau, J.C. ; 1986. Note de synthèse sur les actions de conservation des sols en Haïti. MARNDR-FAMV- Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle.

Brochet, M. 2002 Les stratégies de lutte contre l'érosion et l'aménagement de bassins versants en Haïti. Séminaire AUPELF, Madagascar.

Initiative Régénération Haïti ; 2010. Étude des leçons apprises dans la gestion des projets environnementaux en Haïti. PNUE.

Murray, 1979. Terraces, trees and the Haitian peasant. An assessment of twenty five years of erosion control in Haïti.

<http://www.clas.ufl.edu/users/murray/Research/Haiti/Terraces.Trees.and.the.Haitian.peasant/tthp.1.pdf>

Murray, G.F. et Bannister, M.E. ; 2004. Peasants, agroforesters, and anthropologists : A 20 years venture in income generating trees and hedgerows in Haïti. *Agroforestry Systems* 61, pp. 383-397.

Rajabensee et al. ; 1990. USAID's Haiti Hillside Strategy : An evaluation of an approach. USAID.

Smucker, G. et al., 2007. Environmental vulnerability in Haiti. Findings and Recommendations. USAID.

Toussaint, J.R., 2010. Leçons apprises en gestion des bassins versants : Perspectives du MDE.

White, T.A., 1994. Policy lessons from history and natural resource projects in Haiti. Department of Forest Resources, Univ. of Minnesota, Working Paper no. 17.

Récupération des terres dégradées dans les communes de Bitinkodji et Namaro (Niger) par approche participative des populations locales

AMADOU Issaka, M. SEYNI Seydou, M. ABBA Mamane Laouali

Programme de Lutte contre l'Enseblement dans le Bassin du Niger-

Courriel : amadou@abn.ne ; plce@abn.ne

1. Problématique

Le bassin du Moyen Niger concentre une population de plus en plus importante, qui doit faire face à des besoins croissants dans un environnement soumis à une intense dégradation des ressources en terres et en eau. On assiste à une extension des dunes et des glacis érodés, contribuant ainsi à la formation et au développement de nombreux « *koris* » (oued) responsables des pertes en terres productives.

Les solutions techniques en matière d'aménagement de bassin versant existent et sont adaptées aux différents faciès du paysage (plateaux nus, glacis encroûtés ou sableux, cordons dunaires), et sont généralement bien maîtrisées. En revanche, elles n'ont pas été développées à grande échelle dans la vallée du fleuve Niger afin de lutter efficacement contre son enseblement.

2. Présentation de la zone de l'étude

La zone de l'étude est située dans la partie sahélienne du bassin du Moyen Niger et concerne le bassin versant constitués de plateaux encroûtés et le front dunaire situés en rive droite du fleuve en amont de Niamey (13,58 N ; 1,92 E). Les sols pour la plupart pauvres en matière organiques, sont incapables d'assurer une production agricole et pastorale suffisante.

3. Matériels et méthodes

La méthode est basée sur l'approche participative à toutes les étapes du processus : identification et planification des activités, exécution des travaux. La démarche a consisté à mobiliser la population locale autour de divers techniques d'aménagements antiérosifs (cordons pierreux, banquettes, fixation des dunes, mise en défens) en les équipant de petits matériels agricoles peu coûteux et disponibles dans le terroir (dabas, pelles, pioches, gants). Après deux années, la biomasse herbacée et les productions agricoles ont été évaluées sur les différents sites traités.

4. Résultats et discussions

Après évaluation de la biomasse herbacée, nous avons obtenu 680kg MS/ha sur les dunes fixées ; 1 447kg/ha sur les plateaux traités par la techniques de banquettes ; 545 kg/ha sur les glacis. Quant à la production céréalière, les rendements du mil (*Pennisetum sp.*) et de sorgho (*Sorghum vulgare*) sont passés respectivement, de moins de 50 kg/ha à plus 850 kg/ha sur les zaï, 248kg/ha sur demi-lunes. Ces résultats corroborent ceux obtenus en station dans des conditions climatiques et pédologiques similaires.

5. Conclusion

L'expérience a montré qu'avec peu de moyens, les populations sont capables d'augmenter les productions agricoles et pastorales tout en protégeant leur environnement. Par ailleurs, l'approche participative convient mieux aux aspirations des populations dans la mesure où elles décident elles mêmes du mode d'aménagement de leur terroir.

Mots clés : Niger, Zai, banquettes, demi-lunes, rendements céréales.

Pratiques paysannes et gestion du terroir d'Antanikarefo (périphérie urbaine d'Antananarivo)

Mamonjisoa Tolotra ANDRIATSARAFARA et Simone RATSIVALAKA

Université d'Antananarivo, Faculté des lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, 101 Antananarivo, Madagascar, Courriel : andriatsarafaradoda@yahoo.fr

Résumé : Les dangers de l'érosion sont très marqués dans les pays tropicaux. Les pertes en terre sont estimées en moyenne entre 1000 et 2000 ha/an à Madagascar suivant le rapport sur l'état de l'environnement à Madagascar (Office National de l'Environnement, 1999). Cette érosion reste conditionnée par les facteurs climatiques, la densité de la couverture végétale et surtout par les activités de l'homme sur les versants du terroir d'Antanikarefo telles que l'exploitation forestière et l'extension anarchique des bâtis.

Le terroir d'Antanikarefo est situé sur la rive droite du fleuve Ikopa par 19°55 S et 41°28 E sur les Hautes terres Centrales le l'Imerina à 10 Km environ à l'ouest d'Antananarivo. Il s'étend sur une superficie de 42 ha.

La problématique est la suivante : « Dans quelle mesure l'évolution des stratégies paysannes de mise en valeur de l'espace agricole permet t-elle sa gestion rationnelle? »

L'objectif est d'évaluer les réactions paysannes de la lutte contre l'érosion et de spatialiser les risques d'ensablement.

Une carte topographique d'Ambohidrapeto publiée par la Foiben Taosarintanin'ny Madagasikara (FTM) au 10.000^e, une carte géologique TANANARIVE – MANJAKANDRIANA au 100.000^e, et des photographies aériennes missions 1967 au 25.000^e, et 2003 au 16.000^e, ont facilité la localisation et la spatialisation de la zone d'étude.

La méthode d'enquête par sondage a été adoptée au niveau de chaque collectivité de base en rapport avec le nombre des ménages avec un taux d'échantillonnage de 30%, soit 50 ménages sur les 630 recensés. L'approche par changement de productivité a été précédée afin d'estimer la perte monétaire due par l'ensablement sur la production agricole.

Les résultats montrent que la pratique paysanne décrite dans cette étude est différente de celle du monde rural malgache en général. Les stratégies de gestion du terroir ont évolué dans le temps et dans l'espace et se traduit par la mutation du milieu rural vers une agriculture périurbaine. Les conditions naturelles du milieu : climat tropical à saisons contrastées, régime hydrologique excédentaire et la fertilité des sols ; offrent des options stratégiques aux activités agricoles. L'adoption paysanne par étape, des techniques de gestion efficace des terres, a permis une amélioration considérable de la production agricole. Par ailleurs, les disgrâces de la gestion du terroir sont surtout liées aux problèmes d'inondation et d'ensablement entraînant la baisse de la production agricole. Ils se manifestent par l'envasement et l'inondation des parcelles du fait de la sédimentation des canaux d'irrigation.

Des programmes de lutte contre l'érosion devraient être entreprises par tous les acteurs de développement. Les effets de l'érosion comme dans le cas d'Antanikarefo causent en effet des pertes non négligeables au niveau de la production agricole.

Mots clés : Erosion, agriculture périurbaine, terroir, aménagement

INFILTRATION CAPACITY OF MINED SOILS REFORESTED WITH ACACIA AND CASUARINA IN THE DOMINICAN REPUBLIC

CRUZ César

ccruz@isa.edu.do

Abstract

The purpose of reforestation of ferronickel-mined soils is to restore its quality. Soil infiltration capacity is among the soil physical properties expected to be recovered. Many authors have associated soil infiltration capacity to the type of land use. The objectives of this research were to evaluate the effect of reforestation with two forest species acacia (*Acacia mangium*) and casuarina (*Casuarina equisetifolia*), and a natural forest which was the control; and the age of the plantation (acacia of 3, 6 and 12 years of age and Casuarina of 3, 7, 13 and 20 years of age) on the infiltration capacity (cumulative infiltration and infiltration rate) of reclaimed mined soils in the Dominican Republic. The results showed that infiltration capacity was higher for the soil covered by the natural forest than for the soils covered by the planted species (acacia and casuarina). The soil covered by casuarina resulted with a higher infiltration capacity than that of the soil covered by acacia. The infiltration capacity of the soil covered by casuarina was lower in the soil covered by the plantation of 3 years of age, and increased for the casuarina-planted soils of 7 years. The infiltration capacity was highest for the soils covered by casuarina of 13 and 20 years, with no significant difference between them. The effect of the age of acacia on the soil infiltration capacity was not so evident. The infiltration capacity is the lowest for the soil covered by acacia of 6 years, followed by the infiltration capacity of the soil covered by acacia of 12 years. The soil infiltration capacity was highest when the soil was covered by acacia of 3 years. The reason for this was probably due to the fact that the soil covered by acacia of 3 years was growing in terraces, which appears to contribute to the improvement of soils physical conditions such as the infiltration capacity. The results of this study show that the reforestation of mined soils with casuarina is more effective than with acacia for the re-establishment of the infiltration capacity. The results also show that the increase of the age of the casuarina plantation contributes to the improvement of the infiltration capacity of the soil. For the case of the acacia cover, the establishment of terraces contributes to the improvement of the infiltration capacity of the soil. The soil infiltration capacity contributes to the reduction of surface run-off.

Key words: Dominican Republic, infiltration capacity, soil characteristics, *Acacia mangium*, *Casuarina equisetifolia*, restored mined soils.

Le bassin versant : institutionnaliser et planifier la GCES en Haïti

Yves Jamont Junior Duplan

Au moment où l'insécurité alimentaire affecte une grande partie de la population haïtienne, l'agriculture demeure l'un des secteurs productifs prioritaires. La relance agricole s'impose comme une urgente nécessité. Or, cette relance risque de butter sur l'érosion des sols qui se manifeste déjà dans l'ensemble des bassins versants. Liée à des facteurs topographiques, agro-écologiques et socioéconomiques, l'érosion des sols en Haïti est essentiellement hydraulique. Autrement dit, pour assurer la conservation des sols, la gestion des eaux est primordiale.

Outre l'insécurité alimentaire, la vulnérabilité aux inondations et l'indisponibilité de l'eau sont des problèmes préoccupants. A cet égard, la conservation des eaux associée à la maîtrise du ruissellement se révèle indispensable. Or, les objectifs de conservation ne peuvent être atteints que si la capacité d'infiltration et de stockage du sol est maintenue à un niveau suffisant. Par conséquent, la conservation des eaux passe par une bonne gestion des sols.

Eau et sol se lient de façon organique. Ainsi, dans l'optique de conservation, il convient de distinguer et relier la gestion des eaux et la gestion des sols. Encore faut-il les assurer simultanément dans un cadre organisationnel et de planification cohérent. Tel doit être le souci de la gestion conservatoire des eaux et des sols (GCES).

La conjonction de la gestion des eaux et des sols n'est pas reflétée dans la planification et l'organisation des institutions qui en sont responsables. L'eau et le sol sont gérés par des institutions distinctes. De plus, comme dans la gestion des eaux, différentes institutions interviennent dans la gestion des sols, et ceci sans concertation ni organisation d'ensemble. Une telle dispersion est un obstacle à la planification rationalisée et implique l'inefficacité et l'inefficience des actions. Dans ce contexte, l'harmonisation et la coordination institutionnelles de même qu'une planification intégrée sont cruciales pour qu'une GCES soit soutenable c'est-à-dire pour s'assurer de la pérennisation des résultats des projets et de leur effectivité sur le long terme.

Se réclamant de la GCES, la nouvelle approche de lutte antiérosive en Haïti néglige la dimension institutionnelle. Pour combler ce vide, un autre principe à intégrer à la GCES serait de *renforcer les capacités institutionnelles pour la conservation des eaux et des sols*. C'est ainsi que, partant des principes de la GCES qui privilégient la participation, l'échelle du bassin versant et le long terme pour l'aménagement de l'espace, nous proposons un système intégré de gestion des eaux et des sols. Dans le cadre de l'aménagement du territoire et des bassins versants, ce système met en cohérence les différents niveaux de décision et de planification et favorise la participation à tous les échelons.

Mots-clés : Système organisationnel, planification et gestion des eaux et des sols, niveaux de décision

Modifications du ruissellement et des pertes en terres suite à l'abandon d'une culture annuelle (manioc) au profit de plantations agroforestières dans des périmètres villageois sur forte pente au Nord Vietnam.

Pascal Podwojewski^{1a}, Didier Orange^a, Pascal Jouquet^a, Thierry Henry Destureaux^a, Van Thiet Nguyen^b, Pham Van Rinh^b, Do Dui Phai^b, Tran Duc Toan^b

1: Correspondant : Pascal.Podwojewski@ird.fr ; a : IRD, UMR 211 BIOEMCO ; b : SFI (Soils and Fertilizers Institute, VAAS, MARD), Dong Ngac, Tu Liem District, Hanoi, Vietnam.

Résumé

Un bassin versant de 50ha localisé sur fortes pentes au Nord Vietnam a été équipé depuis 1999 pour suivre le bilan hydrique ainsi que les pertes en terres et la qualité des terres et des eaux. Quatre sous-bassins ont été délimités pour suivre les effets de la mise en usage des sols comme les plantations d'arbres (principalement *Acacia mangium*, *Venitia montana*, *Styrax tonkiniensis* or *Eucalyptus sp.*), les cultures annuelles représentées principalement par le manioc (*Manihot esculenta* Cranz) ou les plantations de fourrage (*Bracharia ruziziensis*) et leurs effets sur le ruissellement de surface et l'érosion. Trois parcelles d'érosion de 1m² ont été installées pour contrôler durant 2 années consécutives le ruissellement et le détachement après chaque évènement pluvieux sur les cinq principaux types de mise en usage : culture annuelle de manioc, plantation de fourrage de *Bracharia ruziziensis* suivant une culture de manioc, une plantation d'arbres de type *Acacia mangium*, une jachère de 3 ans suivant une culture de manioc et une jachère avec des repousses d'eucalyptus régulièrement coupées. La pente varie de 40 à 100% sur les versants cultivés. Les sols sont des Acrisols désaturés et acides. Ils sont profonds, argileux, très poreux avec une densité apparente < 1 g cm⁻³, et une très forte activité biologique.

Grace à une initiative gouvernementale, un changement d'usage des sols a été constaté par l'abandon de la culture de manioc qui occupait 40% de la surface à moins de 2% au profit d'une jachère, de plantations d'arbres et de fourrage. Après 6 années de mesures, la quantité de sédiments exportés dans le Bassin versant principal est passée de 3,5t ha⁻¹ à moins de 0,3t ha⁻¹ et de 9,5 à moins de 0,5t ha⁻¹ dans le sous bassin sous forêt.

L'érosion est principalement active au début de la saison des pluies lorsque les sols sont à nu pour la plantation du manioc après le travail du sol, après le désherbage, et aussi après les principaux évènements pluvieux.

Cette étude confirme que les cultures annuelles comme le manioc sont les principales responsables de l'érosion. Sous manioc, le ruissellement (16%) est également le plus fort. Il est le plus faible sous les plantations arborées (<5%). Les plantations de fourrage ne diminuent pas immédiatement le ruissellement mais diminuent fortement le détachement. Six années après l'abandon des cultures, cette érosion peut être considérée comme négligeable. L'activité biologique lombricienne, avec une production abondante de turricules sous les plantations arborées et sous jachère est presque absente sous manioc. Elle peut être considérée comme un facteur fortement limitant de l'érosion. D'une part l'activité biologique favorise la structuration du sol et la stabilité de cette structure d'autre part elle augmente fortement la rugosité de surface ce qui réduit le ruissellement.

Mots clés : Vietnam, érosion, détachement, couvert végétal, cultures annuelles, activité biologique.

Influences des arbres sur le stock de carbone du sol et les risques d'érosion et de ruissellement dans les montagnes du Maroc.

SABIR Mohamed¹ & ROOSE Eric²

1. ENFI, BP 511 Salé, Maroc. Courriel : sabirenfi@wanadoo.net.ma

2. IRD, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France. Courriel : roose@mpl.ird.fr

Résumé

Dans le Rif et le Moyen Atlas, montagnes aux pentes raides, se posent des problèmes graves d'érosion et de protection de l'environnement. La pression démographique a transformé les paysages forestiers (sylvo-pastoraux) en une mosaïque de parcelles céréalières imbriquées avec un matorral dégradé. La réduction du couvert végétal est quasi généralisée, aboutissant au déclenchement de phénomènes d'érosion spectaculaires. Les rôles environnementaux de la forêt ne sont plus assurés. L'eau produite est de mauvaise qualité et les barrages s'ensavent. Le stockage du C dans les sols est réduit au minimum. Cette étude a porté sur l'influence de l'utilisation actuelle des terres (forêt, matorral, céréale, agroforesterie, reboisement) sur la capacité du sol à stocker du carbone dans l'horizon humifère (stock C t/ha) et sur les indicateurs des risques de ruissellement (infiltration finale If mm/h, pluie d'imbibition Pi mm) et d'érosion (stabilité des macroagrégats du sol MA %).

Les zones d'études situées dans le Rif sont à climat subhumide et à végétation (subéraie) dégradée. Un matorral de cistes surpâturé existe encore avec des reboisements de pins (40 ans). Les pentes sont moyennes à fortes (15-60%). Les sols sont essentiellement peu évolués d'érosion, avec deux textures : sablonneux sur grès et argileux vertiques sur marnes ou argilites.

Les zones d'études du Moyen Atlas sont à climat semi-aride sous chêne vert et subhumide sous chêne liège. La végétation forestière est relativement bien conservée. Les matorrals sont pâturés. Les sols étudiés sont brun forestier, brunifié, fersialitiques, calcimagnésique, vertisols, isohumique, hydromorphe et sablonneux. Les pentes sont moyennes (20 à 35%).

Un irrigateur a été développé pour simuler des pluies de 80 mm/h d'intensité et de 50 mm de hauteur sur 130 placettes (1m²) représentant des répétitions (>3) selon le type de sol, et l'utilisation des terres (forêt, matorral, céréaliculture). L'état de surface du sol a été caractérisé selon la méthode des points quadrats : Surface ouverte (SO %), surface couverte (couvert végétal au ras du sol CV %), résistance à la pénétration (PEN kg/cm²), densité apparente (da g/cm³) et humidité de surface (H %). Le stock de C du sol a été calculé pour les 30 premiers cm à l'aide de 5 mesures de da et d'une mesure du taux de matière organique (MO %) pour chacune des 130 placettes.

Dans les montagnes du Rif sous chêne liège, le stock de C du sol atteint 95 t/ha sous forêt, 70 t/ha sous matorral pâturé (- 26%) et 53 t/ha sous culture (- 46%). Dans le cadre des tentatives de restauration des sols, l'association d'arbres fruitiers à la céréaliculture (agroforesterie) ramène le stock de C à 71% et le reboisement des terres dégradées en pins à 93%, après 40 ans..

Dans les montagnes du Moyen Atlas, sous chênes liège et vert, les sols sont plus poreux (da 0,6 à 1,4 g/cm³). Les taux de matière organique (8 à 13,8%) et des agrégats stables à l'eau (35%) sont plus élevés. Les infiltrations finales sont importantes (70 mm/h). Les coefficients de ruissellement (10 à 15%) et les détachabilités (0 à 20 g/m²/h) sont faibles.

La réduction du stock de C par la mise en culture est plus importante dans les sols à texture sablonneuse qu'argileuse. La corrélation entre le stock de C et le couvert végétal au ras du sol n'est pas significative et peu significative avec les indicateurs d'infiltration (Pi et If). Le taux d'infiltration finale est lié positivement à la MO et à la surface ouverte du sol et négativement à la cohérence et à la densité apparente du sol de surface. La pluie d'imbibition est positivement liée à la MO et à la surface ouverte du sol. La stabilité des macro-agrégats est liée significativement à la MO, notamment pour les sols argileux.

La forte pression démographique, se manifestant par une mise en culture et un surpâturage des terres forestières, entraîne en quelques années, une chute de moitié du stock de C et un tassement de la surface du sol. Les risques de ruissellement et d'érosion

augmentent avec la dégradation du couvert végétal. La reforestation permet de restaurer la situation, mais elle est rarement acceptée par les paysans dont on soustrait une partie de leur parcours. L'agroforesterie, notamment les arbres fruitiers, en améliorant le stock de C et les caractéristiques hydrodynamiques des sols, permet une agriculture de montagne durable et mieux acceptée par les paysans.

Mots-clés : Maroc, Sols, Utilisations des terres, Stock de carbone du sol, Indicateurs, Infiltration finale, Pluie d'imbibition, Macro-agrégation, Simulation de pluies.

Analyse des facteurs d'érosion des sols selon le modèle USLE de Wischmeier et Smith, 1960. Cas de Laplate, 1^{ère} section communale de Bassin Bleu (Département du Nord'Ouest, Haïti).

SADRACK Désir
desirsadrack@yahoo.fr

1. Problématique

En Haïti, la dégradation de l'environnement constitue un problème majeur (Frère, 2002). Le Ministère de l'Environnement dans son plan d'action pour l'environnement souligne que les problèmes de l'environnement en Haïti sont identiques aux grands problèmes mondiaux de déboisement de forêts naturelles, de pollution, de sédimentation du littoral et d'érosion des sols.

La section communale « Laplate », située dans le département du Nord Ouest d'Haïti n'échappe pas à cette problématique. Dans cette zone, la décapitalisation des exploitations agricoles jointe au manque d'encadrement technique sont parmi des facteurs de dégradation des terres causée par l'érosion hydrique (Jeudi, 1997). L'objectif de cette étude consiste à analyser les facteurs d'érosion des sols au niveau de Laplate.

2. Présentation du milieu

Laplate est la première section communale de Bassin Bleu et s'étend sur 68,52 km² (IHSI, 1998). Elle est située à plus de 600 m d'altitude et reçoit annuellement 1000 à 1200 mm de pluie (Frère et Goutier, 1966). Les sols sont de type limono-sableux.

3. Méthodologie

La méthodologie est axée d'une part sur des mesures (pente, superficie des parcelles) et une enquête de terrain d'autre part. Cette enquête a été menée au niveau des trois localités de Laplate (Nérou, Dérac et Odigé) à raison de 25 planteurs par localité, avec pour chaque planteur une parcelle considérée. Soit un nombre de 75 parcelles sur un total de 1230 parcelles agricoles que compte Laplate pour 420 planteurs. Ensuite, nous avons consulté des documents traitant de la situation foncière à Laplate. En outre, le calcul des pertes en sols au niveau parcellaire a été effectué au moyen de l'équation universelle de pertes en sols (USLE). Pour ce faire, sur chaque parcelle inventoriée, les données enregistrées concernaient les facteurs pluviométrie, texture du sol, pente de terrain, cultures et pratiques agricoles. Enfin, nous avons effectué une analyse de corrélation entre ces différents facteurs de l'équation USLE dans le logiciel de traitement statistiques *Statistica*.

4. Résultats

Les mesures effectuées sur le terrain montrent que la pente des 75 parcelles inventoriées se situe dans la fourchette allant de 12 à 25% et celui de la superficie oscille entre 2.000 à 24.000 m². L'enquête réalisée montre aussi que les cultures se retrouvent le plus souvent en association. La culture dominante est le maïs. La situation foncière est dominée par des terres en faire valoir indirect avec des contrats de fermage allant de 6 à 12 mois entre le propriétaire et l'exploitant (Pierre, 2005). De plus, le calcul des pertes en sols effectué au niveau des parcelles inventoriées est compris entre 4 à 140 tonnes/ha/année comparé à la perte en sols tolérable qui est de 4 tonnes/ha/année pour les sols sableux (Xanthoulis. 2009).

A Laplate, la majorité des parcelles cultivées (75%) se trouvent dans des pentes supérieures à 10%, où la végétation naturelle a été détruite au profit des cultures sarclées (le maïs par exemple) et où les méthodes culturales sont inadaptées comme par exemple l'agriculture sur brûlis et le défrichement. Enfin, l'analyse de corrélation effectuée entre facteurs dans le logiciel *Statistica* montre que les pratiques culturales sans structures conservacionnistes et la pente de terrain influencent le plus les pertes en sols à Laplate. Dans cette zone, les agriculteurs exploitent leurs parcelles sans aucune norme technique de conversation. Ce qui entraîne au moment des fortes pluies l'érosion hydrique des sols. Par ailleurs, les cultures sarclées pratiquées sur des pentes supérieures à 10% ne font qu'accentuer le processus de dégradation des terres causé par l'érosion hydrique.

5. Discussion/conclusion

L'analyse effectuée entre différents facteurs montre que les mauvaises pratiques agricoles ainsi que la pente entraînent l'érosion hydrique des sols à Laplate. Pour mieux cerner ce problème, il convient de former les planteurs et d'améliorer la sécurité foncière. La formation à l'intention des planteurs devrait se porter sur les techniques conversationnistes et culturales simplifiées. Celles conversationnistes consisteraient à initier l'agriculteur à mettre en place des bandes enherbées, des haies vives et des terrasses sur courbe de niveau au niveau parcellaire complétées par l'installation de structures biologiques (clayonnage/fascinage) et mécaniques (seuils en pierres sèches) dans les ravines. Les bandes enherbées ainsi que les haies vives devraient s'établir sur des parcelles dont leur pente est inférieure à 12%. Elles protègent le sol contre l'érosion hydrique en réduisant la vitesse de l'eau et en retenant des sédiments. La mise en place des terrasses devrait s'effectuer sur des pentes comprises entre 12 et 50%. L'aménagement des ravines au niveau parcellaire permet d'éviter les dégâts en aval et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol. Quant aux techniques culturales, elles auraient pour objectif à initier l'agriculteur à planter sur courbe de niveau et dans le sens perpendiculaire de la pente des cultures intercalaires (le haricot par exemple) dans les rangs des cultures sarclées. Ce qui va permettre une bonne couverture du sol.

Pour améliorer la sécurité foncière, les contrats de ferme entre le propriétaire et l'exploitant devraient s'étendre sur une période allant de trois à cinq ans. Ce qui permettrait à ce dernier d'effectuer des travaux de protection de sols comme par exemple l'incorporation à la parcelle des résidus de culture et aussi de pouvoir tirer profit de sa production.

Mots clés : Haiti, Laplate, USLE, sécurité foncière, pente, LAE

Aspects socio-économiques de la lutte antiérosive au Sénégal

SENE Ibra

Courriel : seneibson@yahoo.fr

Problématique La zone du plateau de Thiès est caractérisée par la prédominance de formations lithologiques friables telles que les sols squelettiques (Landing Mané, 1994¹). Pendant certaines périodes de l'année, on note des écoulements de type torrentiel débordant des chenaux pour inonder de larges espaces. La brutalité des écoulements entraîne souvent des ravinements intenses dans les paysages des forêts et des terroirs villageois. Les ravins font partie des indices de l'état de dégradation avancé de la zone du plateau. Ils sont particulièrement visibles dans la zone de Allou Kagne à Mont Rolland, à Kissane, dans le Diobass etc. En relation avec des ONG ou associations de base, plusieurs initiatives de lutte antiérosive sont notées dans cette zone.

Présentation de la zone : La zone du Plateau de Thiès se situe à l'Ouest du Sénégal, dans le bassin sédimentaire Sénégal-mauritanien sur un substratum essentiellement composé de dépôts du crétacé et du tertiaire. Cette zone recouvre la totalité de la zone éco-géographique appelée zone des massifs qui intègre le horst de Ndiass et le plateau de Thiès. Elle couvre une superficie approximative de 2 160 km², abrite 10 communautés rurales et 3 communes. Sa population en 2006 est de 665 130 habitants qui sont répartis dans les trois départements (Thiès, Mbour et Tivaouane). L'ensemble de la zone du Plateau de Thiès est un écosystème composé et défini par le Plateau de Thiès au sens strict, le massif de Ndiass et leurs zones d'influences respectives.

Méthodologie : Revue documentaire, visite de terrain, guide d'entretien avec les bénéficiaires : Participation des acteurs, degré d'implication et système d'implication (motif de la participation), -guide d'entretien exploratoire pour les responsables des projets, grille d'observation participante

Résultats : - participation massive (75%) des femmes aux actions de lutte antiérosive,
- la participation rémunérée est source de motivation, faiblesse des moyens financiers de la LAE,
- dissymétrie entre acteurs locaux (analphabétisme) et partenaires,
- logique de concurrence entre responsable de projet,
- manque de concertation avec les populations sur les zones cibles de la lutte antiérosive,
- manque d'articulation des niveaux de décision, - incohérences institutionnelles,

Mots-clés : Sénégal, aspects socio-économiques, projet de LAE

¹ MANE, Landing (1990) études et cartographie des milieux biophysiques du terroir de Kissane (région de Thiès Sénégal), UCAD .mémoire de maîtrise, .133p

Conclusions générales

Par Eric ROOSE et Hervé DUCHAUFOR.

Thème 1. Restauration de la productivité des sols

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

1.1. La dégradation de la productivité des sols. (Roose, Hien *et al.*, Prat et De Noni)

Quelques années après le défrichement et la mise en culture des sols tropicaux (3 à 15 ans selon la texture et le type d'argile), on constate une baisse de la capacité du sol à produire les cultures. Les causes sont nombreuses (acidification et envahissement par les adventices, tassement et manque d'oxygène des racines, lessivage des nutriments, salinisation, carbonatation, empoisonnement par les métaux lourds) dont on ne retiendra ici que l'érosion sélective, l'exportation par les récoltes, l'acidification de l'horizon superficiel et surtout la minéralisation des matières organiques du sol (MOS) et la baisse d'activité de la faune du sol. Les causes étant complexes, on ne peut espérer restituer et encore moins améliorer le potentiel de productivité du sol « fatigué » en n'intervenant que sur l'une des causes (conservation des sols ou fertilisation minérale ou travail du sol par exemple).

1.2. Les techniques traditionnelles d'entretien de la fertilité des sols (IKPE, Diallo, Seignobos)

Traditionnellement, la jachère longue, ou l'abandon du sol dont les rendements ne suffisent plus, permet progressivement l'envahissement de la surface du sol par une succession de végétaux, qui accumulent en surface des litières améliorant l'infiltration et réduisant l'érosion, tirent des profondeurs des nutriments et les accumulent dans l'horizon superficiel. L'abondance des litières et des MOS permet une diminution des fuites de nutriments, une amélioration de la stabilité structurale du sol et du stockage de l'eau et des nutriments indispensables à la croissance des plantes et des activités de la faune et de la microflore du sol. Au bout de 4 à 40 ans selon le milieu, le sol recouvre la majorité des qualités d'un sol témoin en milieu naturel.

Mais les sociétés rurales qui ont connu une certaine pression foncière ont développé diverses techniques pour prolonger la durée de productivité des sols cultivés, en réduisant les pertes par ruissellement et érosion **par le terrassement des versants** (ex. les terrasses des Dogons du Mali ou des Mofu du Cameroun : Seignobos , Tchotsoua , Wakponou *et al.*), **par l'apport de fumier** (N.-Cameroun, Burkina Faso, voir Seignobos, Hien *et al.*), **par le maintien d'une couverture du sol par le paillage et par les résidus de culture** (Seignobos et Tchotsoua au N. Cameroun, Diallo au Sud-Mali, à Madagascar, voir équipe FOFIFA, Univ. Tana et ESSA), **par le développement de légumineuses** (IKPE au Nigéria, Morsli, Arabi et Roose en Algérie, Prat et De Noni en Amérique latine), **par le buttage et le billonnage** en courbe de niveau qui rassemblent la terre humifère peu disponible pour produire des racines et des cultures au-dessus du niveau des sillons où croissent des adventices (vu au Togo, Côte d'Ivoire, Casamance, Mali, Madagascar, etc.). On verra plus loin que le système si décrié du brûlis sur jachère permet en définitive de valoriser des sols pauvres mais **enrichis en charbon de bois**, très efficace dans les sols pour améliorer le stockage de l'eau et la capacité d'échange des sols sableux à kaolinite (Peltier *et al.*, Serpantié *et al.*). Cet effet des charbons de bois a été observé également au Laos (Valentin *et al.*). **Le travail profond du sol avec enfouissement** des adventices, des résidus de culture et éventuellement de fumier, a été longtemps préconisé malgré l'importante consommation d'énergie exigée. On verra plus loin qu'on en revient au profit du labour minimum.

Au lieu d'alterner des courtes périodes de culture suivie de longues périodes de repos/ jachère, les chercheurs ont aussi étudié des techniques traditionnelles de gestion du paysage à l'aide **de haies vives de légumineuses arbustives** qui non seulement réduisent le ruissellement et l'érosion à des valeurs acceptables, mais remontent dans leurs feuilles des minéraux lixiviés par les eaux de drainage profond (> 100 kg de N, 10 kg de P et 40 kg de bases/ha) et apportent des matières organiques riches

qui peuvent servir de fourrage en saison sèche et de paillis en saison culturale. La sélection d'espèces de légumineuses arbustives bien adaptées localement (*Leucaena leucocephala*, *Calliandra calothyrsus*, *Tephrosia vogelii*, *Cajanus cajan*) permet de fournir du bois de chauffe, du paillage et du fourrage en réduisant la surface cultivable de 10 à 20 % mais en sécurisant l'horizon humifère, l'alimentation hydrique (suppression du ruissellement) et une abondante biomasse de qualité (IKPE, Hien *et al.*, Edmond *et al.*, Prat et De Noni, Seignobos et Tchotsoua, Ndayizigiye *et al.* au Rwanda, Duchaufour *et al.* au Burundi). Voir § 4 Effets des arbres.

1.3. La restauration rapide des sols dégradés (Roose, Hien *et al.*, Arabi, Prat et De Noni)

L'étude de diverses techniques de restauration de la productivité des sols tropicaux, en particulier du zaï en Afrique de l'Ouest et des sols volcaniques indurés, a montré qu'il fallait respecter **six règles pour récupérer rapidement** (1 à 2 ans) la capacité d'un sol tropical à produire des céréales.

1. Introduire un système de gestion des eaux de surface pour alimenter les besoins des plantes sans engorger le sol : ex. cordons pierreux, terrasses drainantes, haies vives ou bandes enherbées, cuvettes limitant le piégeage du ruissellement selon les précipitations locales.

2. Recréer la macroporosité du sol et un drainage rapide : broyage des tepetate et des croûtes calcaires, labour profond favorisant un enracinement profond dans les sols dégradés, tassés.

3. Stabiliser la structure et revitaliser l'horizon superficiel par apport de matières organiques fermentées (fumier, compost) ou, à défaut, de résidus organiques riches en azote (légumineuses ou litières décomposées).

4. Corriger le pH du sol (entre 5 et 7) pour éviter les toxicités métalliques (aluminique), faciliter les activités microbiennes (fixateur de l'azote de l'air) et la libération de nutriments facilement assimilables par les plantes (surtout pour le phosphore).

5. Nourrir les plantes cultivées pour leur permettre de valoriser directement le potentiel du milieu (fonction du climat, du type de sol, des cultures) : le sol, les plantes et les MO naturelles sont généralement carencées et demandent un complément de nutriments minéraux pour atteindre leur potentiel.

6. Choisir des plantes à forte production de biomasse, adaptées aux conditions locales de pauvreté des sols et de dureté du climat, de préférence d'origine locale ou à potentiel génétique large, non invasives.

1.4. Création de sols issus de roches (Seignobos et Tchotsoua au N. Cameroun, coulée volcanique en Martinique, Roose et Khamsouk).

En plus des techniques décrites pour la restauration rapide des sols meubles, il faut introduire **des moyens pour fissurer la roche ou broyer l'horizon induré** pour accélérer la dégradation physico-chimique des roches et la libération des minéraux nutritifs, la néoformation de colloïdes argileux qui augmentent le stockage de l'eau et des nutriments. Au Mali, les Dogons apportent sur des dalles de grès des sables qu'ils fertilisent avec des composts, fumiers et résidus de culture (Roose). Au Nord-Cameroun sur les Monts Mandara, les Mofus sélectionnent les arbres sauvegardés, plantent des graines et des fougères dans les fissures des roches, après les avoir fait éclater par le feu. Ensuite, ils rassemblent des pierres pour construire progressivement un muret pour capter et stocker les eaux de pluie dans un néo-sol formé de sables des altérites du granite et des MO. Tout un ensemble de plantes rustiques (fougère, cynodon, sorgho, millet, souchet, arachide, pois de terre) et d'arbustes fixateurs d'azote et producteurs de fourrages sont implantés dans ce système de terrasses jardinées qui permet d'enrichir progressivement ce milieu très pauvre, de stocker les eaux de surface et de gérer la circulation des eaux dans les ravines des montagnes (bassins entre seuils empierrés). En Martinique, un glissement de terrain n'a laissé qu'un versant rocheux d'altérite de coulée volcanique acide. Non seulement il a fallu couvrir le versant de déchets de l'industrie de la canne à sucre, mais il a fallu piéger les eaux de ruissellement dans des cuvettes et enrichir les altérites décapées à la barre à mine avec du

compost et des nutriments minéraux complets pour que les arbustes locaux s'installent, couvrent le sol et arrêtent l'érosion.

Thème 2. Influence de la LAE sur la dynamique de l'eau : de la parcelle au bassin

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

2.1. Caractéristiques des cyclones et pluies tropicales exceptionnelles

Dans les Caraïbes, on observe une très forte variabilité spatiale des pluies en fonction du relief, de la proximité de la mer et des pluies convectives localisées. Les précipitations annuelles varient de 1 500 mm dans les plaines maritimes à plus de 4 500 mm sur les sommets des volcans et 10 000 mm sur la Soufrière en Guadeloupe (Real). Lors de la dizaine de tempêtes tropicales importantes par an, le vent peut atteindre 100 à > 200 km/heure, ce qui aggrave les dégâts dûs aux pluies qui peuvent atteindre 90 mm/heure, 300 mm/jour et 600 mm en 6 jours. En moyenne, la hauteur des pluies mensuelles dépasse 380 mm pendant 5 mois consécutifs : avec des ETP de 150 mm/mois, on imagine facilement l'énorme quantité d'eau qui draine sur ou à travers le sol (> 1200 mm de drainage). L'énergie, l'intensité et l'abondance des averses tombant sur des sols volcaniques pentus et très perméables entraînent des risques majeurs de ravinements et de glissements de terrain.

Si on analyse l'évolution des précipitations durant ces trois dernières décennies, on observe des variations de 3 %, non significatives. De même, le nombre de cyclones est constant, mais l'augmentation de la température de l'air et de l'océan fait craindre une augmentation de la vitesse et de la force du vent et l'augmentation de l'intensité et de l'énergie des pluies (Réal).

Pour améliorer l'analyse et la prédiction de l'évolution du climat, il est nécessaire de disposer de données plus nombreuses et plus sûres. C'est pourquoi l'Unesco a lancé le programme « Medhycos » en vue d'améliorer le réseau de capture de données climatiques fiables et leur interprétation à l'échelle régionale et mondiale (Laraque).

2.2. Influences de l'aménagement des bassins versants

Au Niger, sur des sols ferrugineux sableux, on a instrumenté des bassins pour mieux comprendre l'impact des aménagements et des cultures sur les écoulements et les transports solides. Les premiers résultats ne montrent pas nettement de différence entre les BV témoins cultivés et le bassin cultivé aménagé partiellement en cordons pierreux ou en demi-lunes. En effet, le terrain est si instable qu'il a fallu réhabiliter les aménagements au bout de 3 années.

Au Burkina Faso, Serpantié et Lamachère ont montré que les cordons pierreux ne réduisent pas beaucoup le volume ruisselé des champs aménagés, mais réduisent le débit de pointe et les transports solides. Le labour grossier et le billonnage piègent les petites pluies, mais au bout de 200 mm, la capture diminue en même temps que la rugosité de la surface du sol. Associés, le labour grossier et les cordons de pierres isohypses augmentent l'infiltration au champs et étale les écoulements dans la vallée.

En Martinique, la baie du Robert subit un ensablement accéléré dangereux pour la protection de la biodiversité du milieu corallien et pour le tourisme (Rocle *et al.*). On a classé les terres du bassin en sept classes en fonction des indicateurs de leur vulnérabilité (couvert végétal, topographie, érodibilité des sols). La mesure des débits liquides et solides dans les ruisseaux a mis en évidence la fragilité des berges, la mobilisation des fonds de rivières lors des pluies dépassant certains seuils (> 2m³/ sec) qui dépendent de l'imperméabilisation de la surface du sol par l'habitat, les pistes, les sols nus encroûtés, les parcours des animaux. Les transports solides varient de 2 à 20 t/ha/an avec une érosion en nappe moyenne de l'ordre de 10t/ha/an. Le charriage correspond à 40 % des transports solides au début de la saison des pluies mais régresse à 5 % en fin de saison quand les sols sont couverts (formation de croûtes de battance et tassement de la surface du sol par les nombreux passages des ouvriers dans les bananeraies). Les glissements de terrain n'ont pas été pris en compte.

En Martinique, les bananeraies occupent souvent des fortes pentes (10 à > 40 %) dans des zones très pluvieuses. Dans les plantations modernes où les bananiers sont plantés dans le sens de la pente en rangs doubles avec un plus large espace maintenu nettoyé, l'érosion est importante (40 à 100t/ha/an. Cependant, dans les plantations en quinconce semi-pérenne, les pertes en terre ne sont importantes que les six premiers mois de plantation, car ensuite les résidus de culture s'amoncellent au pied des bananiers. Il suffit de disperser les résidus perpendiculairement à la pente, pour réduire à des taux négligeables le ruissellement et les pertes en terre (1 à 3 t/ha/an) (Khamsouk *et al.*, 2008 ; Achard *et al.*, 2011). **L'effet radical du paillage** sous toutes ses formes a également été démontré au Burundi (Rishirumuhirwa), en Côte d'Ivoire (Roose, 1973) et dans le Parc Naturel de la Martinique (Roose et Venumière *et al.*). A Rivière Lézarde, on a soumis le sol brun rouille issu de cendres volcaniques bien structurées à des **pluies simulées extrêmes** (Intensité de 100 mm/h et hauteurs de 300 à 600 mm en quelques heures). Sur sol nu entre les bananiers, on a observé après une pluie d'imbibition très importante ($P_i > 50$ mm) le développement du ruissellement en même temps que la formation d'une croûte particulière sous une couche d'agrégats arrondis par la battance, qui ont tendance à migrer par flottation dans la lame ruisselée. Par contre, les parcelles couvertes de paillage de résidus de culture (bananier, canne à sucre ou ananas) ont pu absorber quasi tout le volume de pluie, le ruissellement restant très peu abondant et peu chargé. Cette expérience démontre clairement l'effet déterminant de la litière à la surface du sol sur la dynamique de l'infiltration conjuguée avec l'éclatement des agrégats et les pertes en terre (Khamsouk et Roose, 2008-11).

En Algérie, en milieu semi-aride, sur des sols argileux rouges méditerranéens, ou bruns calcaires et vertisols, le labour grossier et le billonnage en courbe de niveau (avec des doubles dérayures en travers du champ) réduisent le ruissellement au champ à 10 % du témoin labouré aux disques en année normale (Morsli). Par contre lors des pluies importantes de fréquence 1/5ans, les champs cultivés sont griffés de rigoles évoluant en ravines et les aménagements (cordons pierreux, terrasses, banquettes), généralement efficaces lors des pluies normales, débordent, ravinent profondément les versants, détruisent les seuils dans les ravins et provoquent des glissements de terrains sur des pentes fortes et le long des oueds (Mazour, Morsli). L'aménagement en éléments de banquettes d'un versant argileux en amont d'une ville n'a pas résisté plus de 4 ans suite à l'ensablement des cuvettes et du canal. De même, les terrasses en gradins, les cordons de pierres, les seuils en terre compactée, les j'boub, megden, sed et seguia, aménagements traditionnels qui ont fait leur preuve en années normales, ont été éradiqués ou dégradés lors d'une averse de fréquence 1/20 ans. Cependant, les populations rurales sont habituées à les réparer après chaque événement rare (Mazour) car ces aménagements n'exigent pas des moyens mécaniques importants : le travail communautaire permet de les maintenir en fonction aussi longtemps qu'il reste assez de main-d'œuvre au village.

En Tunisie, les équipes IRD (Albergel, Touma, Zante, Collinet) et tunisiennes (Nasri, Baccari, El Ali, El Faleh, etc.) ont démontré que les banquettes isohypses, les cordons de pierres et les cuvettes individuelles avaient une influence remarquable sur le ruissellement alimentant les barrages collinaires lors des pluies ordinaires : ces aménagements mécaniques captent jusqu'à 50 mm de pluie qu'elles infiltrent en totalité : les versants sont donc localement engorgés et le barrage collinaire risque par ailleurs de recevoir beaucoup moins de ruissellement des versants. Mais lors des pluies de fréquence rare, ces aménagements débordent, concentrent les eaux stockées dans des ravins et sont détruits au bout de 4 à 10 ans selon leurs dimensions. Leur coût est élevé et leur efficacité limitée dans le temps si ces techniques mécaniques ne sont pas soutenues par des couvertures végétales. Voir « Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides » de Roose *et al.*, 2008, Edition AUF, EAC, IRD, ENFI, 402 p.

A Madagascar, les Tamala vivent au pied de la falaise qui borde les hautes terres. Ils brûlent la forêt puis les recrus arbustifs (*tavy*) pour assurer leur subsistance (riz de montagne et manioc) sur des sols ferrallitiques très perméables mais très pauvres des versants. Ils ont développé une série de techniques agricoles pour ralentir la dégradation et l'érosion des sols sur les fortes pentes très arrosées (>2500mm) du Nord-Est de Madagascar : choix des terres perméables initialement bien couvertes d'arbres, maintien des arbres en amont des parcelles pentues cultivées, travail du sol réduit au minimum (semis au bâton pointu), sol bien couvert pendant toute la culture (associée) (Serpantié, 2011).

Sur les **Hautes terres de Madagascar**, les aménagements commencent par la rizière dans les vallées. Ensuite, si on dispose d'une source d'eau, les paysans aménagent les colluvions de bas de pente et terrasses en gradins irriguées pour étendre la rizière. Enfin, pour compléter les réserves alimentaires, les paysans grattent les versants jusqu'à isoler des terrasses progressives (*tanety*) sur lesquelles ils cultivent les plantes qui survivent sur des sols pauvres et acides (manioc, arachides, pois de terre, sorgho, épinards, etc.). Un fossé de protection isole la parcelle cultivée des eaux de ruissellement provenant du haut de versant. Les hauts de pente et les sommets sont réservés aux arbres et parcours communautaires souvent brûlés juste avant la saison des pluies, ce qui fournit de l'eau et des cendres aux pépinières de riz.

A l'échelle du bassin élémentaire, la plantation de pins et d'eucalyptus réduit les débits de pointe au dixième de celui d'un parcours brûlé annuellement et à la moitié d'un champ cultivé en courbes de niveau. Mais au cours des pluies extrêmes de fréquence 1/50 ans, le sol est saturé quels que soient la couverture végétale et l'aménagement de telle sorte qu'au final les écoulements de pointe se ressemblent, mais les transports solides sont largement moindres sous forêt (voir Manankazo, Roose, 1987).

En Haïti, nous n'avons malheureusement reçu aucun document scientifique analysant l'efficacité des aménagements antiérosifs sur le fonctionnement hydrique des bassins versants élémentaires. Les rapports d'évaluation des ONG concernent le plus souvent l'importance quantitative des aménagements : kilomètres de fossés et de canaux de contour, de haies vives, nombre de seuils dans les ravines, d'arbres élevés en pépinière et plantés en bosquets ou en courbe de niveau, kilomètres de pistes rurales, nombre de dispensaires, de barrages collinaires, de mares rizicoles, d'arbres fruitiers, tonnage de légumes commercialisés, etc. Nous aurions aimé souligner que les canaux de contour et autres terrasses en gradin ou banquettes d'absorption totale ou même cuvettes ou éléments de banquettes ne sont fonctionnelles que pour les pluies petites et moyennes ; mais lors des cyclones déversant 300 mm/jour à 600 mm en une semaine, le sol est complètement saturé, les fossés et canaux débordent, ravinent les versants ou provoquent des glissements de terrain très dangereux, en particulier pour les villes construites dans les vallées (comme dans le Maghreb ou les montagnes africaines). Aucun aménagement antiérosif mécanique ne peut résister à de tels volumes de pluie. De plus, il faut tenir compte du vent qui augmente considérablement l'énergie des pluies et des séismes qui bousculent la structure du sol humide et favorise les glissements de terrains.

Les projets de Salagnac-Aquin et Pratic dans les collines du sud de l'île ont testé l'approche de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols tout en veillant à la participation des intéressés, à leur formation et à l'amélioration de leurs revenus (voir Smolikowski, Roose et Brochet, 1993). Les interventions visaient à favoriser l'intensification et la diversification des productions agricoles tout en stabilisant les versants et les fonds de vallées primaires : création de pistes de montagne pour évacuer les nouvelles productions (maraîchage), création de citernes captant les eaux de pluies sur les toits et le ruissellement concentré sur les pistes bétonnées, valorisation des eaux de ruissellement par le développement du maraîchage, reconversion des terres fragiles en cultures pérennes (arboriculture fruitière et forestière), amélioration de l'élevage (au piquet ou à l'étable), contractualisation des opérations proposées par le projet, choix en priorité des zones qui conservent un haut potentiel de

production (bas-fonds, vallons) plutôt que les terres mortes complètement dégradées, stabilisation des fonds de vallons par des seuils-citernes bétonnés pour y développer des jardins créoles, des cultures maraichères associées aux arbres fruitiers greffés pour étaler la saison de production.

Parmi les projets visités en juin 2010, les aménagements de Gros Mornes tiennent compte des besoins immédiats de revenus des paysans en même temps que des possibilités limitées d'investissement, de la difficulté de fixer dans l'immédiat les versants arides. Ce projet concentre les efforts sur les vallons, ravines ou vallées primaires pour y stocker une partie des eaux ruisselants en surface (seuils + citernes + puits) et des terres humifères qu'elles transportent, pour y développer un tissu d'arbres fruitiers/fourragers surplombant des cultures intensives, associées et couvrant le sol toute l'année. En plus des seuils résistant aux débits de pointe des ruisseaux, tout un réseau de haies freine les écoulements et produit de la biomasse nécessaire pour améliorer l'élevage et les sols. Des exemples sur le terrain ont démontré que ces aménagements démarrant en aval et remontant progressivement sur les versants peuvent résister aux pressions énormes et multiples des énergies développées par les pluies cycloniques dévalant sur ces pentes raides et souvent arides, aux sols superficiels. En captant une bonne partie des crues de ruissellement et en ralentissant les vitesses de pointe, ce type d'aménagement réduit sérieusement les risques d'inondation et d'envasement des villes situées en aval. Ces aménagements ont résisté aux trois derniers cyclones et aux séismes de 2010. De jeunes entreprises ont vu le jour qui développent ces systèmes d'aménagement partant des vallons pour progresser progressivement vers les versants.

Thème 3. Les aspects agronomiques de la gestion durable de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

3.1. La nutrition des plantes et la fertilité des sols

L'exportation des récoltes, des résidus de culture et des fourrages, des fruits et du bois, de même que le parcours sur les pailles des céréales entraînent forcément une perte du stock de nutriments assimilables du sol. Par ailleurs l'érosion, la volatilisation par les feux et la lixiviation par les eaux de ruissellement et de drainage accélèrent cet épuisement. Pour maintenir une bonne couverture du sol et un niveau satisfaisant de production végétale, il faut rétablir l'équilibre du bilan et prévoir des apports de matières organiques pour maintenir la stabilité des propriétés physiques et des compléments minéraux pour nourrir les plantes cultivées. Les sols dégradés stockant généralement assez mal les nutriments (N et bases lessivées, P fixés par le fer, l'alumine et les carbonates), il est plus rentable de calculer au plus près les nutriments nécessaires pour atteindre le niveau de production ciblé par la disponibilité en eau et les potentialités climatiques et économiques régionales.

La simple conservation des sols ne suffit donc pas !

3.2. La culture des légumineuses en rotation ou en association

Les **rotations céréales-légumineuses** sont connues depuis des siècles par les agronomes. Par divers mécanismes biologiques, les légumineuses fixent l'azote de l'air, le combinent avec la sève carbonée et laissent dans le sol avec les racines 50 à 200 kg de N/ha/an. (Vandeplas *et al.*, Brochet *et al.*, Roose, 1994, etc.). Plus complexes sont **les cultures associées** qui occupent plus efficacement l'espace aérien et souterrain au cours des saisons et produisent jusqu'à 30 % de plus que les cultures isolées (Valet, Brochet, Duchaufour) : on estime qu'il se passe des échanges directs entre les racines des légumineuses et des autres cultures.

Les haies vives formées de buissons de légumineuses apportent aussi leur quota estimé à plus de 110 kg de N/ha/an à travers le fourrage, le paillage et les bois de feu produits lors de chaque coupe (Ndayizigié et Roose ; Koenig, 1993).

Cependant, dans les milieux pauvres en phosphates assimilables (sols ferrallitiques, ferrugineux tropicaux, calco-magnésiens, volcaniques ou sableux), sans apport de phosphates calciques, les activités microbiennes ralentissent et la fixation d'azote est réduite.

3.3. Les amendements organiques et la fumure minérale (Seh , Brochet, Duchaufour, 2011)

Les matières organiques du sol sont une clé de la fertilité physique (stockage de l'eau, agrégation, infiltration) et chimique du sol (stock d'azote, phosphore assimilable et divers oligo-éléments). La première démarche doit donc consister à maintenir le taux de MO à un bon niveau (seuil de MO variant de 0,5 % sur sols sableux à 2 % sur sols argileux). C'est pourquoi la gestion de la biomasse produite est un des éléments majeurs des systèmes de production. Les paysans du monde ont des approches différentes de la gestion de la biomasse disponible, chacune ayant des avantages et des inconvénients. **Le feu** accélère la minéralisation, produit des charbons de bois très efficaces pour stocker les nutriments et l'eau, mais gaspille la majorité du carbone et de l'azote sous forme gazeuse. La transformation de la biomasse par le bétail laisse divers types de **fumiers**, améliore le taux de C/N et apporte rapidement (après 6 à 12 mois de maturation) une amélioration aux terres où on le concentre. Cependant, son action positive est limitée à 2 années, il exige beaucoup de travail et d'eau, il ne restitue qu'une faible partie des végétaux prélevés (40 à 50 % au mieux), il suppose un nombre important de têtes de bétail et de surface de parcours (pour produire 3 t/an de poudrette, il faut 5 vaches et 20 ha de brousse ou 2 ha de culture fourragère). Enfin, l'élevage entraîne la production de gaz à effet de serre. Le **compost** a un rendement pire encore puisqu'il exige beaucoup de travail (double déplacement, eau) et perd environ 80 % de la biomasse compostée sous forme gazeuse ; de plus, il ne produit pas de viande ni de lait qui justifient l'élevage (Roose, 1994).

Le recyclage des déchets urbains compostés (Fernandes et al, Seh et al.) par contre est un bon moyen de se débarrasser écologiquement d'une partie des déchets urbains fermentescibles, tout en restituant dans les campagnes périurbaines une partie des nutriments exportés avec les fruits et légumes, les céréales et les combustibles vers les villes. Mais cette technique a un coût : ramassage, triage, hachage, fermentation anaérobie avec production de gaz ou compostage aérobie et redistribution aux horticulteurs. Au final, le produit composté ne représente que 20 à 30 % des déchets soit moins de 10 % de la biomasse extraite des campagnes. Les expérimentations de Seh *et al.*, au Cameroun montrent que le coût du compost par kilo de salade produit est nettement plus élevé que le coût des engrais minéraux : l'optimum consiste à utiliser à la fois le compost urbain (qui améliore le taux de MOS) et un complément des nutriments minéraux (N+K et surtout P) trop peu concentrés dans les composts. Encore faut-il vérifier que les composts ne contiennent ni germes dangereux, ni métaux lourds, ni pesticides.

Le paillage et les litières mortes ou vives régulièrement rabattues protègent très efficacement le sol contre l'agression des pluies, du vent, du soleil et améliorent beaucoup les activités de la faune qui augmentent la macroporosité, la stabilité de la structure et l'infiltration des horizons superficiels, les plus importants pour lutter contre l'érosion. Le paillage apporte non seulement une protection contre l'érosion mais aussi restitue progressivement (en 1 à 3 ans) l'ensemble des nutriments constituant la biomasse et séquestre le carbone (MO soluble) (Roose, 1994 ; Achard *et al.*, Khamsouk, 2003). C'est le mode de recyclage le plus proche des litières forestières.

Toutes ces approches ont leur intérêt mais la biomasse disponible sur un hectare en production ne couvre que 20 à 30 % des besoins minéraux du sol et des cultures. Il faut donc utiliser au mieux toutes les ressources en biomasse disponibles localement mais compléter les apports soit par des prélèvements hors champs (apport des boues de décantation des eaux usées et des déchets ménagers urbains ; voir Seh et Fernandes *et al.*, 2011), (parcours des bêtes sur les chemins ruraux, les forêts, les jachères, les cultures fourragères, etc.), soit par le développement sur place de cultures associées en particulier de systèmes agroforestiers apportant un complément de biomasse et de nutriments prélevés en profondeur dans le sol (Valet, 2011, Brochet *et al.*, Peltier *et al.*, 2011), soit par des apports complémentaires de nutriments minéraux (plus concentrés, plus faciles à transporter, mais plus dangereux à gérer) (Roose, 1994, Duchaufour 2011, Brochet, 2011). L'apport judicieux de MO et de

minéraux complémentaires doit être calculé et étalé dans le temps et dans l'espace en fonction du potentiel de production économique du milieu, des risques climatiques et des besoins physiologiques des cultures : en effet les sols à argile kaolinitique ont une faible capacité à stocker les cations, l'eau et les MO.

Les engrais minéraux ont une mauvaise réputation d'acidifier les sols et de produire des sols tassés et peu vivants. Il est vrai que les nitrates, chlorures, sulfates et autres phosphates se décomposent dans l'eau en acides forts et que les cations (Ca⁺ Mg⁺ K) sont délogés des sites échangeables du sol par l'hydrogène, entraînant la baisse du pH du sol. Mais il faut rappeler que les plantes ne se nourrissent pas des molécules organiques sans leur minéralisation par les microbes du sol. La gestion intensive de la fertilité des sols suppose donc un apport de matières organiques, complété par des apports fractionnés de minéraux pour optimiser la production végétale (et la protection du sol). La faune et la microflore du sol, indispensables, ont besoin de l'apport de matières organiques pour entretenir une ambiance favorable du sol (Roose, 1994).

3.4. Les cultures à forte production de biomasse et l'agroforesterie (Duchaufour)

Il est généralement admis que la forêt plurispécifique et multi-étagée non seulement protège bien le sol contre l'érosion mais accumule en surface des éléments nutritifs puisés en profondeur près des roches altérées ou captées en surface en solution dans les pluies ou dans les poussières et cendres que l'air véhicule.

Mais avec le développement de la population, les paysans sont forcés de défricher les forêts et développent des **systèmes de cultures associées** dans l'espace et dans le temps (Valet) ou des cultures particulièrement productives de biomasse et protectrices du sol. C'est le cas « **des jachères bananières** » ou **agroforestières** au Burundi qui accumulent la fertilité dans la végétation et le sol (10 cm de terreau en dix ans) au point de nourrir plus de 600 habitants par km² sur les pentes raides des collines. Il n'est pas rare de trouver sous ces bananeraies agroforestières plus de six cultures associées. Il semble dans ces cas que l'extension de la bananeraie supplante progressivement la multiplication du troupeau comme mécanisme d'accumulation du capital (Duchaufour). La canne à sucre et les ananas sont aussi capables de produire des masses impressionnantes de biomasse (> de 100 t/ha/2 ans). Il est clair que cette production n'est atteinte que sur des bons sols humides et beaucoup plus lentement sur des sols pauvres et superficiels (techniques des pots de fleurs). En Haïti, a été développée une technique d'aménagement antiérosif appelée « **bande d'arrêt à manger** » : il s'agit d'une bande cultivée en courbe de niveau où l'on concentre la fumure pour produire des végétaux dont on tire les fruits mais dont on laisse la biomasse sur place (ex. canne à sucre, bananiers, ananas, etc.).

De nombreux systèmes agroforestiers partent des mêmes principes de cultures associées à des lignes d'arbres élagués pour porter peu d'ombre et dont les racines sont taillées (par un labour profond à 50 cm des pieds) très tôt pour qu'elles se développent en profondeur sans trop concurrencer les cultures occupant le sous étage : c'est le cas des **haies vives** qui sont plantées très serrées (50 cm en quinconce) et taillées 3 à 4 fois l'an, au début pour enrichir le sol sous la haie, mais ensuite pour produire du fourrage en saison sèche et du paillage durant les pluies. La litière produite par ces arbustes/arbres couvre la surface du sol, protège et renforce les agrégats contre l'agressivité des pluies et alimente en nutriments assimilables les cultures associées.

3.5. Le travail du sol et les techniques culturales

Le travail profond du sol a été longtemps préconisé pour augmenter la production, enfouir et maîtriser les mauvaises herbes, approfondir l'enracinement des cultures et favoriser la nutrition hydrique et minérale des cultures. Depuis une vingtaine d'années, des opinions divergentes prétendent que le labour, en aérant les horizons profonds, brûle les matières organiques du sol et accélère la minéralisation des MOS, augmente temporairement leur production mais aussi leur érodibilité et leur vitesse de dégradation. En effet, les sols des forêts ne sont jamais labourés et pourtant leur porosité,

leur MOS et leur fertilité augmentent grâce aux remontées biologiques par les racines, le travail des insectes et la minéralisation des litières. Dans les systèmes traditionnels de culture sur jachère brûlée, le travail du sol est très réduit les premières années (Serpantié). Des systèmes modernes **de travail du sol réduit au minimum** et **semis sous litières** ont été développés en zones tropicales (surtout en Amérique latine) qui commencent par améliorer la porosité du sol (par labour mécanique ou éclatement du sol), puis développent des rotations alternant légumineuses et céréales, les unes étant semées sous la litière des précédentes ou même entre les rangs des autres avec un décalage d'un à deux mois. L'accumulation des résidus de culture laissés à la surface du sol après la récolte accélère l'activité des vers de terres, termites et autres fousseurs qui au bout de quelques années retournent l'horizon humifère, creusent une macroporosité plus stable que le labour, très efficace pour améliorer le drainage et aérer les couches tassées par la battance des pluies et le poids des tracteurs. Au Maroc, sur des terres semi-arides, Mrabet a observé que le système de semi direct sous litière (même réduite à 40 % de couverture) améliore les qualités physiques et chimiques (MO, azote, phosphore et potassium) des horizons superficiels et à moyen terme le rendement des cultures. Des **plantes de couverture** (de préférence des légumineuses) assurent la protection contre l'érosion et la lixiviation des nutriments par les eaux de drainage : elles peuvent parfois réduire la concurrence des adventices lors des premières années de mise en place du système. L'usage **d'herbicides chimiques remplace le labour** mais entraîne une sélection des mauvaises herbes résistantes, ce qui oblige de changer souvent d'herbicide. Ces systèmes testés sur sols ferrallitiques sableux au Nord-Cameroun et Sud-Mali ont confirmé la réduction du ruissellement et de l'érosion mais l'augmentation du drainage durant les semaines les plus pluvieuses ; ils ont obligé les paysans à apporter 20 unités d'azote complémentaire pour compenser les pertes par lixiviation des nutriments solubles (N et bases) (Diallo, Boli et Roose, 2004). Alors que la production du coton s'est maintenue, la récolte du maïs a accusé une perte de 10 à 30 % par rapport au système du labour conventionnel, en année humide, mais le coût du système de semis sous litière est moins élevé que la technique de labour conventionnelle. La principale difficulté en Afrique tient aux droits de parcours des champs dès qu'ils ont été récoltés, au pâturage et aux feux de brousse qui ne permettent pas de garder les résidus de culture sur les champs en saison sèche. Il faut donc développer un système de gestion des paysages en bosquets et **clôtures de haies vives**. En milieu semi-aride méditerranéen, les résidus de culture sont valorisés par le bétail qui rapporte beaucoup plus que la culture de céréales (Mrabet). On peut douter que ce système enthousiasme les paysans éleveurs qui vont consacrer à la couverture du sol 40 à 80 % des résidus généralement utilisés par le troupeau après la récolte.

3.6. L'élevage et les risques d'érosion (Hermelin, Sabir, Brochet *et al.*, 2011)

L'élevage est l'une des ressources financières importantes des paysans en particulier sur les terres ingrates : c'est la caisse d'épargne des petits paysans des régions tropicales. Mais son impact sur l'environnement n'est pas que positif (concentration des nutriments de la biomasse pâturée des parcours dans le fumier disposé sur les cultures intensives). Hermelin montre comment en Bolivie, les grands élevages remplacent les forêts, participent à la dégradation du couvert végétal, au tassement de l'horizon superficiel (Thèse de Sabir) et à la naissance du ruissellement et des glissements de terrain (terrassettes nommées pieds de vaches). Par ailleurs, le déplacement régulier des troupeaux depuis les parcours vers les sources d'eau entraîne la formation de ravines profondes sur les terres en pente (Roose, Sabir et Laouina, 2010. « *La gestion durable de l'eau et de la fertilité des sols au Maroc.* » IRD, Montpellier, France, 350 p).

Par contre, l'élevage familial en enclos (ex. porcherie familiale, bergerie, poulailler) permet un recyclage des résidus de culture et des ménages, la production de biogaz et de compost. Les contrats de pâturage des résidus de culture et de parcage la nuit sur les champs à fumer ont l'avantage d'éviter tout transport et manipulation du fumier : ce sont les animaux qui se déplacent et recyclent à la fois les urines et les fèces : le labour rapide est alors indispensable pour éviter les pertes en azote gazeux. Ce transfert de nutriments et de matières organiques favorise la croissance rapide des végétaux (et des

adventices) et par conséquent le recouvrement de la surface du sol et la dissipation de l'énergie des pluies et du ruissellement.

Thème 4. Rôle des arbres sur la gestion durable de l'eau et de la fertilité des sols.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

4.1 La richesse des sols sous forêts

Quand les paysans cherchent de nouvelles terres, ils choisissent de préférence des terres forestières sachant qu'elles seront plus productives que les terres sous savane. En effet les analyses montrent qu'elles sont plus poreuses, plus perméables, mieux structurées, plus riches en une faune diversifiée et en matières organiques, en azote, bases et phosphore assimilable, et plus résistantes à l'érosion (Cruz en Dominique, Serpantié à Madagascar, Sabir et Roose au Maroc). La forêt est en effet l'un des rares systèmes de production qui accumule des matières organiques et minérales dans sa biomasse et dans les horizons superficiels du sol. Grâce à un double système racinaire superficiel et profond, il recycle très rapidement les minéraux disponibles en surface (pluie et litière) et en profondeur (eaux de drainage et altération des roches). De plus, la famille des légumineuses fixe l'azote de l'air. Le sol n'étant remué que par la faune du sol, les matières organiques et les nutriments se concentrent dans les horizons superficiels qui, avec la litière, protègent le sol contre l'agression des pluies, du ruissellement et du soleil.

Le défrichement des sols forestiers entraîne une exportation des bois, le brûlage des fins rameaux et de la litière, la minéralisation brutale des nutriments accumulés pendant des décennies, leur exportation par le feu, le drainage, le ruissellement et l'érosion, un réchauffement et un dessèchement du microclimat. En quelques années (2 à 20 ans selon la teneur en argile), le stock de MO accumulé pendant des décennies est épuisé et le rendement des cultures baisse.

4.2 La restauration des sols et des forêts.

La démarche classique des forestiers devant des sols dégradés par les cultures et par l'élevage est de rétablir la couverture forestière en choisissant des essences à croissance rapide (20 à 40 ans) comme les pins, les eucalyptus, ou, plus récemment, des légumineuses comme les *Acacias mangium*, *A. auriculiformis*, ou *A. Senegal*, *A. seyal*, *A. Mellifera*, *Bauhinia*, *Piliostigma*, ou des *Casuarina equisetifolia* : elles sont choisies localement pour leur croissance rapide, leur forte production de biomasse et l'amélioration du sol, en même temps que leur capacité à couvrir le sol d'une litière protectrice contre l'érosion.

Plus récemment, on a démontré dans **le Rif au Maroc sur terres argileuses** (sols bruns calcaires ou vertisols) que les forêts naturelles de chênes du Rif séquestraient jusqu'à 100 t de C/ha sur 30 cm de profondeur, alors que le matorral parcouru par le bétail ne stockait plus que 74 %, les cultures de céréales ou de cannabis que 54 %. Pour restaurer ce taux de stockage de carbone dans le sol, le choix des forestiers se porte sur des plantations de pins ou d'eucalyptus (94 %) et celui des paysans sur l'agroforesterie fruitière (71 %) (Sabir et Roose).

Dans le Haut Atlas de Marrakech, on a comparé sur cinq parcelles d'érosion (de 150 m²), l'influence de la plantation de pins (40 ans) sur éléments de banquettes sur l'érosion et le ruissellement en fonction du substrat rocheux magmatiques ou sur argiles permo-triassiques. Alors que le niveau d'érosion est modeste (E= 0,2 à 2,5 t/ha/an) sur la majorité des versants rocheux à fortes pentes (25 à 60 %), elle atteint 350 t/ha/an sur ravine nue sur argile rouge, 1,1 t/ha/an sur parcours et 0,05 t/ha/an sur plantation de pins sur banquettes bien entretenues. Lorsque les banquettes sont peu entretenues et ensablées, le ruissellement et l'érosion reprennent aussitôt. (Cheggour *et al.*).

En République Dominicaine, la capacité d'infiltration d'un sol minier planté en *Casuarina equisetifolia* augmente avec l'âge de la plantation, mais reste inférieure à celle de la forêt naturelle témoin. Sous *Acacia mangium*, l'infiltration reste plus faible et dépend de l'aménagement en terrasse (Cruz César).

Au Nord-Vietnam, le gouvernement a favorisé l'abandon des cultures sur brûlis de manioc sur les fortes pentes (acrisols argileux acides) pour des plantations d'arbres (*Acacia mangium*, *Vernicia montana*, *Styrax tonkiniensis* ou *Eucalyptus*) et de fourrages. Après 6 années, les transports solides d'un bassin sont passés de 9,5 à 0,5 t/ha/an. Le ruissellement est passé de 16 % sous manioc à < 5 % sous les plantations arborées. L'activité des vers, très élevée sous les arbres et les jachères, est quasi nulle sous manioc : les turricules semblent un facteur limitant le ruissellement et l'érosion car les vers favorisent la structure et la rugosité de la surface du sol (Podwojewski et al.).

4.3 Création d'un système mixte forestier et agricole (taungya ou jatropa)

Il s'agit d'installer **un système forestier à rotation courte** (12 ans) en vue de produire du bois de chauffe, du charbon de bois ou des perches pour les habitations, à l'abri duquel on accepte la culture de plantes (maïs, manioc, arachides, haricots) servant de nourriture aux populations locales. Une fois les arbres couvrant la majorité du sol, l'exploitation agricole en couloir entre les jeunes arbres n'est plus permise par les forestiers qui n'ont plus besoin de l'entretien de la plantation. Le but essentiel des plantations d'arbres à croissance rapide est de produire de la cellulose, du bois de chauffe ou de service, de protéger le sol contre l'érosion et d'améliorer ses propriétés. Des recherches ont eu lieu au Nord-Cameroun pour montrer l'intérêt de jachères forestières plantées (Harmand, Peltier, 2011).

Un cas particulier est la **production de biocarburant** à partir de la plantation de *Jatropha gurcas* (Pressoir en Haïti) ou de Palmier à huile en Indonésie (*Elaeis guineensis*) sur des terres pauvres ou dégradées peu utiles à l'agriculture. Durant les premières années, les cultures basses sont tolérées en échange du sarclage de la plantation à but industriel. **En Haïti, le *Jatropha gurcas*** comestible pourrait devenir une culture arbustive qui contribue à valoriser les terres sableuses marginales ou dégradées impropres à l'agriculture, à protéger les mornes dégradés contre l'érosion et les chèvres (haies vives) tout en produisant du biocarburant pour les centrales électriques, les réchauds, les lampes et les véhicules, et du tourteau pour les animaux. Reste à démontrer que cette filière est rentable sur les mauvaises terres et qu'elle ne va pas concurrencer les cultures vivrières sur les terres privées. (Pressoir)

4.4 Systèmes agroforestiers

Il s'agit cette fois de développer des systèmes de production agricole qui s'appuient sur la capacité des arbres ou des haies vives de protéger le sol, de produire des biomasses utiles comme fourrage, bois de feu ou comme paillage ou engrais verts.

Sur les hauts plateaux de Madagascar, les sols ferrallitiques sont très pauvres et la végétation réduite à une steppe graminéenne. Pour améliorer les divers paramètres de la fertilité, on a installé des jachères à arbustes légumineuses (*Tephrosia vogelii*, *Calliandra calothyrsus*, *Flemingia congesta*) ; elles furent comparées à une steppe naturelle à *Aristida*. Au bout de 5 à 7ans de repos, on a enfoui la biomasse dans le sol. La jachère à *Tephrosia* paraît la plus efficace pour améliorer l'infiltration, la masse de pédofaune, la MOS, la porosité et le rendement en haricots (Razafindrakoto et al.)

Sur les hautes collines du Rwanda, Koenig a comparé pendant plus de 20 ans des systèmes agroforestiers comportant jusqu'à 200 arbres par hectares cultivés sur des terres ferrallitiques très pauvres du Rwanda. Parmi 32 espèces, *Grevillea robusta* et *Cedrella serrata*, espèces introduites, ont poussé très vite au début, puis elles ont été dépassées par quelques espèces locales (*Maesopsis* et *Polyscias fulva*). Ces plantations n'ont pas suffi à réduire suffisamment les risques d'érosion hydrique (E= 250 t/ha/an sous culture de manioc + 200 arbres). Par contre, la plantation tous les 7 à 10 m, perpendiculairement à la pente, de haies vives de *Leucaena leucocephala*, ou mieux sur ces terres acides d'altitude, de *Calliandra calothyrsus* a réduit le ruissellement à moins de 2 % et l'érosion à moins de 2 t/ha/an. Ces arbustes ont été plantés en quinconce tous les 50 cm sur une étroite terrasse en courbe de niveau. Dans un premier temps, la plantation de graminées (*Pennisetum*, *Setaria*, etc.) en amont a ralenti plus vite l'érosion (comme au Burundi), mais à moyen terme ces graminées ont réduit la

croissance des arbustes. Dès la première année, on taille non seulement les branches mais aussi les racines superficielles (labour à 50 cm des troncs) des jeunes arbustes pour les maintenir très denses à la base et on enrichit la terre entre les deux lignes par un « filtre » composé des déchets de labour, des produits de la taille et des résidus de culture. Dès la seconde année, les haies réduisent le ruissellement et l'érosion à des valeurs acceptables (1 % de l'érosion sur sol nu), mais le rendement des cultures n'augmente pas tant qu'on n'y apporte du fumier/compost (10 à 20 t/ha/an en humide) et des compléments minéraux (surtout N et P). Dans la zone de Butare, les haies sont taillées deux fois en saison sèche pour produire du fourrage et deux fois en saison des pluies pour produire du paillage répandu sur les champs une fois semés. Ces apports organiques protègent la surface du sol, boustent les activités de la faune dans l'horizon humifère et la litière et recyclent des nutriments puisés en profondeur. Entre ces « lignes de défense », le travail du sol en courbe de niveau pousse la terre vers l'aval et crée en 4 à 6 ans des terrasses progressives et des talus protégés par les haies (Roose et Ndayizigié, Koenig, Diatta *et al.*).

Dans un bassin arachidier du centre du Sénégal semi-aride, un réseau de douze haies vives, formées de onze espèces d'arbustes fréquemment utilisées, a été installé. Au bout de 4 ans, on a observé que le stock d'eau du sol a été augmenté en amont des haies sur 1 m, mais les rendements en arachides et surtout en mil sont rabaisés du fait d'une concurrence pour la lumière et les nutriments par les arbres.

Thème 5. Spatialisation des risques des différents types d'érosion

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Tout projet d'aménagement antiérosif s'appuie sur un diagnostic du milieu, une analyse des risques de divers types d'érosion qui aboutit à une spatialisation des risques d'érosion au niveau des parcelles et des rivières. Il met en route une approche participative où les paysans intéressés sont consultés et formés (Attia *et al.*, Delerue, Roose).

5.1. Diagnostic : accumulation d'informations

A Bibliographie. La première démarche dans l'organisation d'un projet est d'accumuler les informations disponibles dans la littérature sur la situation géographique, le climat, la géomorphologie, les sols, la lithologie et l'hydrologie de la zone du projet, la situation démographique et socio-économique, l'origine et les compétences des populations, etc.

B. Une enquête auprès des villageois et des hommes ressources pour préciser les systèmes de culture, d'élevage, d'énergie, de commerce, les types de sols associés à leurs usages, à leur potentiel et leurs fragilités.

C. Une visite de terrain avec les exploitants permet de définir les segments fonctionnels des toposéquences, les usages des terres, les types d'érosion et les techniques de gestion de l'eau et de la fertilité des terres.

D. On organise alors une restitution des connaissances sur une première carte par village ou groupe d'exploitants d'un versant ou d'un petit bassin versant (Delerue).

5.2. Définition des techniques de gestion de l'eau et de la productivité des sols (GCES)

A Enquête : types d'érosion observés, où sur la toposéquence, à quel moment de la saison, comment se développe l'érosion ?

B. Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion : pente, types d'érosion et importance de chaque type, surface du sol dénudée, fermée par les croûtes de battance ou par tassement, % de graviers et cailloux, couvert végétal, dénudation des tiges et troncs d'arbres (Thiet, Pomel *et al.*)

C. Enquête sur l'efficacité des techniques de LAE, de gestion de l'eau, d'entretien ou de restauration de la fertilité des sols : ce que font les paysans depuis longtemps, ce qui a été tenté récemment, ce qu'on propose pour le futur.

D. Restitution et discussion.

5.3. Estimation des risques : USLE, interprétation d'images, SIG.

- Estimation des risques en fonction des indicateurs par simulations de pluies (Roose, Sabir, Cheggour, Simonneaux).
- Estimation des risques par modélisation (Leumbe, Desir, Duchaufour).
- Erosion en nappe (USLE)= $R_{pluies} \times K_{sol} \times S_{Ltopo} \times Couvert\ végétal \times P_{tech. Cult.}$
- Erosion en ravines (Daoudi+ Ozer).
- SIG cartes des paramètres intégration des classes de facteurs Carte intégrée des risques.
- Restitution et validation de la carte des risques.

5.4. Propositions d'aménagements spatialisés

- Plan en trois dimensions du terroir à aménager sur lequel on reporte les aménagements pour chaque segment fonctionnel, (Leumbe)... + participation des intéressés à toutes les étapes.
- Proposition de l'usage ou du changement d'usage des terres.
- Cartes issues des SIG sur laquelle on propose divers aménagements possibles en fonction des objectifs et des moyens des propriétaires des parcelles sur chaque segment fonctionnel (Boualem/ Mazour, Abdelbakhî, Attia *et al.*).
- Restitution et discussion des cartes d'aménagement Plan d'aménagement par micro-bassin.

5.5. Suivi et évaluation.

- Avant chaque saison, définition des aménagements dont la réalisation est prévue en priorité.
- Après chaque saison, on reporte sur le plan d'aménagement, les aménagements réalisés.
- Evaluation de la mise en place (sérieux du travail) et de l'efficacité des aménagements.
- Reprise et renforcement des travaux qui n'ont pas résisté aux averses, ou choix d'un autre aménagement.
- Evaluation du coût de chaque aménagement (temps de travaux + matériels + consommables) et des bénéfices dûs aux aménagements.
- Projet des réalisations souhaitables pour la saison suivante.
- Bilan après chaque saison culturale.

Thème 6 : les aspects socio-économiques de la lutte antiérosive (LAE)

Les problèmes d'érosion ne sont pas seulement techniques : ils dépendent largement de la façon dont les paysans et les techniciens perçoivent les problèmes et les solutions proposées en fonction de leur histoire (sont-ils agriculteurs, éleveurs, péri-urbains ?), de la difficulté de leur vie (pauvreté, instruction limitée), des moyens économiques dont ils disposent et des pressions socio-économiques et culturelles auxquelles ils sont soumis.

6.1. Perception paysanne des problèmes d'érosion et de dégradation des sols

Les paysans vivant sur les collines constatent clairement que les sols cultivés sans investissement deviennent pauvres et incapables de les nourrir. Du fait de leur pauvreté (Smucker), ils sont amenés à prendre des décisions qui entraînent la dégradation du milieu (par ex. réduction de la durée de la jachère, brûlis des zones boisées trop pentues pour des cultures annuelles). Les causes de cette dégradation (l'énergie des gouttes de pluie, l'érosion en nappe et la minéralisation des MO) sont mal perçues. Ce n'est que lorsque le sol est déjà fort dégradé (rigoles), qu'ils discernent les effets de l'érosion : amaigrissement de la couche humifère, instabilité de la structure et tassement, ruissellement abondant et ravinement, assèchement et perte de productivité de la terre. Devant les glissements de masse, le petit paysan est encore plus démuné. L'érosion apparaît comme une fatalité liée aux excès

d'intensité des pluies plutôt qu'au mode de gestion des terres fragiles, car de toute façon il n'a que le choix d'étendre ses cultures à des terres marginales (Ratsivalaka, Smucker).

6.2 Perception paysanne des solutions aux problèmes d'érosion

Les sociétés rurales ont développé de nombreuses techniques antiérosives traditionnelles plus ou moins efficaces selon la zone écologique et acceptables surtout lorsque les travaux sont réalisés dans le cadre de groupement d'intérêt local (versant, petit bassin, petit projet d'irrigation). Pour que des innovations puissent être acceptées, il faut qu'elles comportent peu d'investissement financier (rôle très discuté des incitations), que leur efficacité soit rapide (démonstrations en situation paysanne), que le supplément de travail soit rentable à court terme, que l'appui technique et financier soit durable (renforcement des structures) (Duplan, Ratsivalaka, Smucker, Peltier, etc.).

La plupart des évaluations à posteriori ont montré que les paysans préfèrent les techniques traditionnelles qu'ils connaissent (Zeckri, Peltier et al., Ratsivalaka, Amadou, Duchaufour) ou tout au moins des techniques traditionnelles améliorées, moins chères, discontinues et semi-perméables (cuvettes et cordons de pierres ou haies plutôt que banquettes) et plus facilement entretenues par les groupements paysans exploitant une même niche. Pour que ces aménagements soient efficaces sur la prévention des inondations, il faut qu'ils soient généralisés à l'ensemble d'un bassin versant et qu'ils ouvrent la voie à des nouveaux débouchés entraînant l'amélioration du niveau de vie des populations (Smucker, Walker *et al.*, Peltier *et al.*, Ha *et al.*, Sene) et, en particulier, des femmes qui assurent souvent plus de 75 % des travaux et sont en recherche de ressources financières pour la survie de leur famille.

6.3. Les pressions démographiques et foncières

Les pressions démographiques et foncières sont souvent citées comme la cause de l'extension des cultures à des terres marginales (trop pentues, trop fragiles) entraînant forcément une augmentation des risques de dégradation par les divers types d'érosion (Smucker, Ha *et al.*, Ratsivalaka, Descroix *et al.*). Le mode d'exploitation des terres est aussi important car si chaque paysan a hérité d'un lopin de terre, il est obligé de louer un complément de surface pour assurer sa sécurité alimentaire.

D'autres voix clament qu'au contraire (thèse Bosrup), plus il y a de monde à la campagne et plus la terre peut être soignée, exploitée intensément aboutissant à une excellente couverture végétale du sol (cultures associées, agroforesterie, parcs arborés cultivés, rotations rapides, cultures pérennes associées à des cultures sarclées, concentration des soins à la terre et recyclage des déchets de toute sorte). L'exemple des bananeraies du Burundi et du Rwanda montre que sur les terres riches (volcaniques) ou tout au moins sous des climats suffisamment humides (montagnes), plus la population est abondante et moins on observe d'érosion (Duchaufour). Par ailleurs, si pour diverses causes (ex. guerre civile au Burundi), les populations émigrent et que la terre retourne à l'état sauvage, on observe une baisse de la densité de population et une recrudescence des problèmes d'érosion et d'inondation (Rishirumuhirwa).

Enfin, ce sont dans les zones les plus densément peuplées, généralement les plus salubres et agréables (zones montagneuses, volcaniques ou semi-arides), qu'on observe la plus grande diversité de techniques traditionnelles de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des terres (ex. Haut Atlas, Rif, Burundi).

6.4. Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive (LAE)

Depuis l'époque coloniale, les stratégies de protection des ressources en eau et en sol ont beaucoup évolué (Walker *et al.*, Smucker, Lilin, Roose). Jusque vers les années 1960, c'est le pouvoir central qui imposait des techniques mécaniques de petite hydraulique rurale (banquettes, terrasses, seuils dans les ravines) en vue de réduire l'érosion sur les versants, la destruction des équipements urbains, les inondations dans les plaines et l'envasement rapide des barrages. Vu l'absence d'entretien

par les bénéficiaires, les ONG ont commencé à prendre en compte l'efficacité des techniques biologiques mieux connues des paysans. Mais tant que le choix des opérations ne vise que la LAE, les paysans s'intéressent aux projets (trop courts) mais cessent d'entretenir les aménagements dès la fin du financement. Une troisième étape commence vers les années 1990, lorsque les projets sont basés sur le développement participatif du milieu rural comportant un diagnostic fin des processus en cause et des besoins des paysans, l'expérimentation des solutions affinées par les groupements de paysans en dialogue avec des animateurs, le choix de systèmes de cultures mieux rémunérés, l'intensification de la production en relation avec une amélioration des conditions environnementales et évaluation par les paysans et les spécialistes (ex . Brochet, Lilin, Roose). Devant l'impossibilité de traiter toute la surface des bassins versants, la tendance actuelle est de commencer par capter le ruissellement et les sédiments érodés dans les ravines humides où est installé un système de production très intensif qui améliore les revenus des paysans (arbres fruitiers, élevage et cultures associées) et réduit les risques d'inondation des plaines. Par la suite, la stabilisation des versants est entreprise progressivement avec des méthodes biologiques. Les interventions s'adressent à un groupement de paysans valorisant un site aménagé (qui a intérêt à l'entretenir) ; le projet prend en charge la formation des entrepreneurs, assure le commerce des intrants et oriente la production vers un marché d'avenir et vers la sécurité alimentaire. En retour, les déchets des agglomérations pourraient être compostés et améliorer le bilan des MO des terres cultivées en faveur des villes (Fernandes *et al.*) : cependant, vu le poids du compost et sa pauvreté chimique (coût par unité de nutriments), il est nécessaire de compléter le bilan nutritif par un apport complémentaire d'engrais minéraux plus concentrés.

Mots-clés

Zones tropicales montagneuses, lutte antiérosive, restauration des sols, protection contre les pluies cycloniques, agroforesterie, techniques culturales, gestion de la biomasse, dynamique de l'eau, spatialisation des risques, aspects socio-économiques.

Face à la pression démographique et foncière dans les pays en développement, la productivité des terres connaît actuellement une forte baisse dans de nombreuses régions tropicales. Par ailleurs, la succession rapprochée des tempêtes cycloniques entraîne l'appauvrissement extrême de certaines populations du fait de la dégradation des terres et des inondations des plaines où se développent les principales agglomérations.

Telles sont les problématiques étudiées par l'IRD et le réseau Érosion de l'AUF dont ce CD présente les derniers travaux. Initialement réunies dans la perspective d'un colloque à Haïti (annulé suite au séisme de 2010), les contributions publiées ici portent sur des études de cas à Haïti, mais aussi à Madagascar, au Maghreb ou au Vietnam, soit au total une soixantaine de communications et une série de documents récents issus des réflexions des experts. Structuré en six thèmes, ce CD constitue ainsi une source bibliographique précieuse pour les décideurs, les experts, les ONG, les acteurs de la société civile et les chercheurs concernés par la gestion durable de l'eau et la restauration de la productivité des sols (GCES).

ISBN 978-2-7099-1728-5

ISSN 0767-2896



IRD

44, bd de Dunkerque
13572 Marseille cedex 02
editions@ird.fr
www.editions.ird.fr