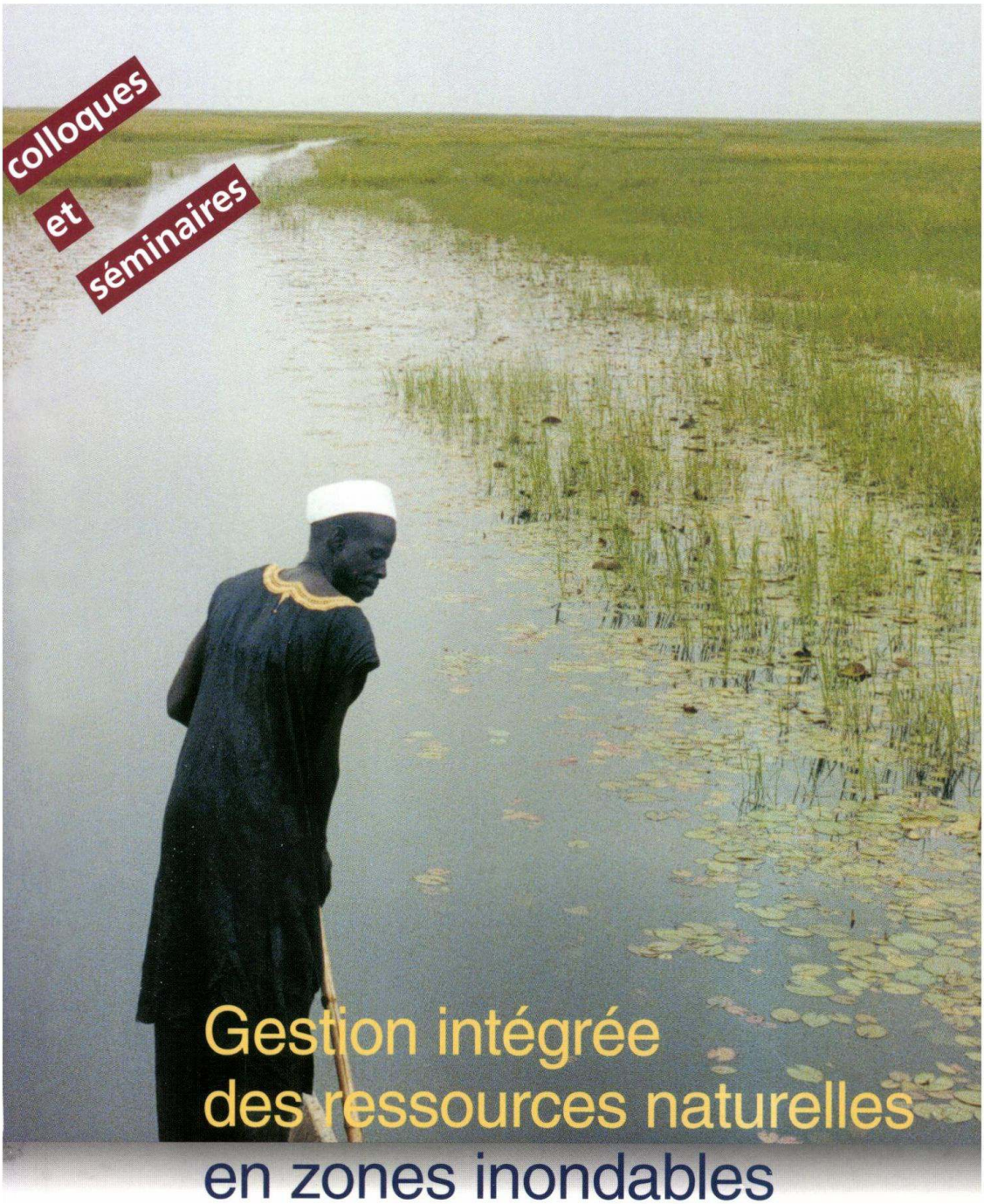


Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales

Éditeurs scientifiques
Didier Orange, Robert Arfi, Marcel Kuper, Pierre Morand, Yveline Poncet

IRD Éditions

Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales

Didier Orange, Robert Arfi, Marcel Kuper, Pierre Morand et Yveline Poncet (dir.)

DOI : 10.4000/books.irdeditions.8488
Éditeur : IRD Éditions
Année d'édition : 2002
Date de mise en ligne : 17 janvier 2017
Collection : Colloques et séminaires
ISBN électronique : 9782709918176

http://books.openedition.org

Édition imprimée
ISBN : 9782709914802
Nombre de pages : VIII p. de pl.-987 p.

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

Référence électronique
ORANGE, Didier (dir.) ; et al. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales.* Nouvelle édition [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2002 (généré le 18 juin 2019). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/irdeditions/8488>. ISBN : 9782709918176. DOI : 10.4000/books.irdeditions.8488.

Ce document a été généré automatiquement le 18 juin 2019. Il est issu d'une numérisation par reconnaissance optique de caractères.

© IRD Éditions, 2002
Conditions d'utilisation :
http://www.openedition.org/6540

De par leur richesse en ressources naturelles renouvelables, les zones inondables tropicales revêtent un intérêt social et économique majeur pour les pays en développement. Cependant, les fleuves tropicaux sont aujourd'hui de plus en plus aménagés pour satisfaire les besoins liés à de nouvelles activités. Les zones jusque-là régulièrement inondées par la crue annuelle se réduisent ou alors les rythmes de leur inondation sont profondément modifiés. Les impacts de tels changements sont nombreux et portent atteinte à la biodiversité et à la durabilité des systèmes d'exploitation. Il s'avère alors nécessaire de définir de nouvelles approches de la gestion de l'eau, des espaces et des ressources vivantes, qui tout à la fois préservent les écosystèmes et prennent en considération les besoins des différents usagers. Tel est l'objectif de cet ouvrage qui pose, dans un premier temps, la problématique sociétale autour de laquelle cette gestion doit être repensée, en faisant apparaître la diversité d'acteurs et d'institutions concernés. Il présente ensuite les acquis les plus récents de la recherche sur le fonctionnement de ces écosystèmes ainsi que sur les pratiques et stratégies déployées par les populations qui les exploitent. Enfin est abordée la question des instruments à mettre en place pour assurer l'effectivité d'une gestion durable des zones inondables tropicales : après avoir fait le point sur les apports de la recherche concernant les outils de traitement et de partage de l'information environnementale, l'ouvrage se termine par un débat sur les conditions de création et de fonctionnement des institutions de suivi, de concertation et de décision.

SOMMAIRE

Remerciements

Liste des auteurs

Liste des référés

Préface
Bino Témé

Introduction générale. Développement durable et gestion intégrée des zones inondables tropicales
Les zones inondables tropicales : de nouveaux espaces à développer
De l'exploitation à la gestion intégrée : entre arbitraire et gouvernance
Le séminaire Girn-Zit : entre science et citoyens
Besoins de connaissances et d'informations : les actes du séminaire

Partie 1. Problématique socio-économique et politique de la gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales

Hydrosystèmes, sociosystèmes
Yveline Poncet
Les caractères sociaux des aires inondables
Gestion intégrée, une illustration tropicale africaine
Trois clés de gestion
L'échelle locale : acteurs et relations
Conclusion
Remerciements

Zones inondables en milieu urbain
Conflits fonciers et concurrences pour l'espace maraîcher à Bamako (Mali)
Dieudonné Zallé et Ousmane Maïga
L'accès à la terre et la gestion des espaces maraîchers
Le statut des parcelles maraîchères et leur localisation
Les dynamiques foncières dans les zones inondables
Conclusion

L'eau, la terre et les hommes autour du lac Télé
Région de Tombouctou, Mali
Cissouma Diama Togola
Un ensemble lacustre et péri-lacustre exploité
Trois systèmes de production
L'adaptabilité des systèmes
Conclusion

La riziculture traditionnelle autour de la mare de Débaré dans le delta intérieur du Niger au Mali
Ousmane Maïga, Marcel Kuper et Bénédicte Gosse-Healy
Histoire et droits fonciers compliqués
Les riziculteurs de Débaré : société et économie
Les activités rizicoles
Les stratégies paysannes et la production de riz
Conclusion
Remerciements

La décentralisation et les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans le delta intérieur du Niger
William G. Moseley, Julia A. Earl et Lassine Diarra
Méthode
Les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la commune de Madiama
La décentralisation et les échelles des systèmes de production
Une politique et des options pour réduire les conflits
Conclusion
Remerciements

Priorités nationales et intérêt local
Des grands barrages à la décentralisation
Bréhima Kassibo
Les grands projets nationaux ou internationaux et les usages locaux
Les barrages et leurs conséquences
Le delta intérieur et les lâchers d'eau
Les instruments d'une gestion intégrée
Intégrer les échelles
Conclusion

Les agents intermédiaires de recherche
Entre chercheurs et développeurs
Marie-Laure de Noray
Positionnement et rôles de l'agent intermédiaire de recherche
Les spécificités de la profession dans une zone inondable tropicale
Conclusion

La gestion des zones inondables par les collectivités locales
Le cas du delta du Sénégal
Patrick d'Aquino, Seydou Camara et Babacar Diop
Les ambiguïtés de l'approche participative
Nouveaux principes pour une gestion décentralisée des ressources naturelles
Conclusion

Partie 2. Processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales

Processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales
Robert Arfi
L'eau, vecteur d'apports exogènes et milieu de transformations
Facteurs et processus contrôlant la productivité primaire
Macrophytes et consommateurs secondaires
Variabilités et résiliences
Conclusion

Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali)
Gil Mahé, Fatogoma Bamba, Didier Orange, Lamine Fofana, Marcel Kuper, Bertrand Marieu, Abdourhamane Soumaguel et Navon Cissé
Cadre physique de l'étude
Construction d'une grille spatio-temporelle hydroclimatique
Bilan hydrologique annuel du delta depuis le début du siècle
Variabilité hydrologique nord-sud dans le delta
Conclusion
Remerciements

Crues et inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal
Alioune Kane

Les conditions hydroclimatiques
Des barrages pour lutter contre la sécheresse
De la nécessité d'une gestion concertée
Conclusion

Hydrologie, agro-écologie et superficies d'inondation dans le delta intérieur du Niger
Didier Orange, Gil Mahé, Lamine Dembélé, Cheik Hamalla Diakité, Marcel Kuper et Jean-claude Olivry

Cadre physique de l'étude
Fonctionnement hydrologique
Un modèle agro-écologique d'inondation
Dynamiques hydrologique et superficies d'inondation
Conclusion

Suivi des zones d'inondation du delta intérieur du Niger
Perspectives avec les données de basse résolution NOAA/AVHRR
Adama Mariko, Gil Mahé, Didier Orange, Antoine Royer, André Nonguierma, Abou Amani et Eric Servat

Le delta intérieur du Niger
Données et prétraitements
Discrimination des zones inondées
Évolution du front d'inondation
Conclusion

Rôle du delta intérieur du fleuve Niger dans la régulation des bilans de l'eau et de sédiments
Cécile Picouet, Didier Orange, Gil Mahé et Jean-claude Olivry

Zone d'étude
Matériels et méthodes
Fonctionnement hydrologique du delta intérieur du Niger
Bilans des matières en suspension
Conclusion

Impact de la dynamique hydrologique sur les cycles de nutriments en zone inondable tropicale sahélienne
Didier Orange, Robert Arfi, Vincent Bénech, Marcel Kuper, Bertrand Marieu et Ibrahim Sidibé

Présentation de la zone d'étude et méthodologie
Un système à inondation rapide et totale
Dynamique spatio-temporelle des teneurs en nutriments dissous
Bilan des flux dissous de nutriments dans une plaine inondable du delta
Conclusion
Remerciements

Contrôle environnemental de la productivité planctonique du delta intérieur du Niger
Robert Arfi

Matériels et méthodes
Résultats et discussion
Conclusion

Aspects de la production et du fonctionnement écologique des zones humides tropicales
Le bassin du lac Tchad
Jacques Lemoalle

Les plaines d'inondation fluviales et le lac Tchad
Bilan hydrique
Bilan géochimique : suspensions et substances dissoutes
Biomasse végétale
Cycle écologique
Conclusion

Fonctionnement hydrosédimentologique du lac Débo
Le rôle du bourgou
Samuel Diarra, Didier Orange et Philippe Bonté
Déroulement des travaux de terrain
Répartition des sédiments dans le lac Débo
Analyses sédimentologiques
Analyses isotopiques
Dynamique hydrosédimentologique du lac Débo
Conclusion
Remerciements

Les migrations latérales des poissons dans le delta intérieur du Niger
Vincent Bénech
Le milieu
Matériels et méthodes
Résultats
Discussion et conclusion

Horloge biologique, inondation et pullulations de rongeurs
Bruno Sicard et Wamian Diarra
Considérations méthodologiques
Quatre modèles de régulation
Discussion
Conclusion

Impacts environnementaux de la mise en valeur d'une zone inondable par irrigation
Évolution des sols et des eaux à l'Office du Niger (Mali)
Serge Marlet et Mamadou Kabirou N'Diaye
Les performances du système hydraulique et ses conséquences sur les bilans en eau et en sels
Évolution des sols et des eaux, productivité des systèmes irrigués
Conclusion

La plaine du Yaéré dans le Nord-Cameroun
Une expérience de restauration des inondations
Daniel Sighomnou, Luc Sigha Nkamdjou et Gaston Liénou
Submersion du Yaéré et changements intervenus
Résultats
Conclusion
Remerciements

Partie 3. Stratégies d'exploitation en zones inondables tropicales

Stratégies d'exploitation en zones inondables tropicales
Marcel Kuper
Conditions naturelles, exploitations traditionnelles et aménagements
Des milieux ouverts, hétérogènes et changeants
Conclusion

Adéquation de l'offre et de la demande en eau
Dynamique hydrologique de l'Anambé (Sénégal)
Honoré Dacosta, Adrien Coly et Pape Ousmane Soumaré
Cadre physique
Disponibilités en eau
Mise en valeur agricole et demande en eau
Adéquation offre / demande
Conclusion

Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger
Impact de la gestion des aménagements hydrauliques
Marcel Kuper, Adama Hassane, Didier Orange, Anne Chohin-Kuper et Mariama Sow

Régulation du fleuve Niger
Utilisation et partage des eaux du fleuve Niger
Impacts de la gestion des aménagements sur les systèmes de production
Conclusion

Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée a la lumière des données récentes
Implications en terme de gestion
Amaga Kodio, Pierre Morand, Kaïmama Diénépo et Raymond Laë

Contexte d'acquisition et représentativité des données
Facteurs et processus de productivité naturelle en poisson dans les systèmes fleuve-plaine
L'activité de pêche : une dynamique fortement structurée dans le temps
Impact de la campagne de pêche sur la ressource
Fluctuations inter-campagnes des captures.
Conclusion

Le barrage de Lagdo (Nord-Cameroun)
Impact sur les plaines d'inondation de la Bénoué
Benjamin Ngounou Ngatcha, Roger Njitchoua et Emmanuel Naah

Principales caractéristiques de la zone d'étude
Rôles du barrage de Lagdo
Impact du barrage de Lagdo sur les ressources naturelles
Stratégies de développement des plaines inondables
Conclusion et perspectives

Crues artificielles et cogestion
La réhabilitation des plaines inondables au Sahel : le Wazasss Logone (Cameroun) et le bas-delta du Sénégal (Mauritanie)
Olivier Hamerlynck, Brahim Ould Messaoud, Richard Braund, Cheikh Hamallah Diagana, Yelli Diawara et Daniel Ngantou

Présentation des zones d'étude
Origine et développement des projets
Mise en œuvre
Résultats préliminaires
Conclusion
Remerciements

Le poisson, une nouvelle ressource au barrage de Manantali
Soumana Alhousseini

Caractéristiques de la ressource
L'exploitation de la ressource
La filière poisson à Manantali
L'activité de pêche et ses contraintes à Manantali
Conclusion

Gestion des pâturages et des conflits liés à l'utilisation des ressources naturelles
Commune de Madiama (Mali)
Amadou Kodio

Présentation de la zone d'étude
Les ressources naturelles et les stratégies d'utilisation
Les systèmes d'élevage
Les ressources pastorales
Conflits liés à l'utilisation des ressources naturelles
Conclusion

Systèmes d'utilisation des ressources naturelles dans la vallée du Sourou (5e Région du Mali)
Odiaba Samaké et Amadou Kodio

Présentation de la zone
Systèmes d'utilisation des ressources naturelles
Discussion
Conclusion

Dynamique de l'utilisation des terres et ses enjeux fonciers
Vallée du fleuve Niger à Gourma-Rharous (Mali)
Issa Bakayoko

Développement des concepts
Systèmes de production
Changements socio-économiques
Dynamique de l'utilisation des terres dans la vallée du fleuve
Analyse des problèmes et perspectives pour la vallée
Conclusion

Enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali)
Delmasig, un SIG à vocation locale et régionale
Jérôme Marie

Formations végétales et modélisation du milieu
L'espace des riziculteurs
Forte compétition avec l'élevage
Conclusion

Dynamique des usages des vallées péri-urbaines de Ngaoundéré
Cas de la plaine inondable de Marza
Michel Tchotsoua, Jean Boutrais et Jacques Bonvallot

Cadre physique
Réorganisation et recomposition de l'occupation du sol
Changement de comportement et de stratégies
Conclusion

Savoir-faire paysan et exploitation piscicole de mares temporaires en zone sahélienne
Cas du village de Tafouka (Niger)
Mathieu Doray, Olivier Mikolasek, Amadou Boureïma et Marc Oswald

Milieu, matériel, méthode
Résultats
Discussion
Conclusion

Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation
Cas du delta intérieur du Niger au Mali
Raphaèle Ducrot, Jean Zaslavsky et Hamidou Magassa

La petite irrigation pour la sécurité alimentaire
Résultats
Conclusion
Remerciements

Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger (Mali)
Marcel Kuper et Hamadoun Maïga

Méthodologie
Organisation de la commercialisation du riz
Évolution en 1999 des marchés de riz traditionnel
Conclusion

Partie 4. Interfaces d'échange de l'information environnementale

Interfaces d'échange de l'information environnementale
Pierre Morand
Une étagère bien fournie
Vers une mise en œuvre des outils au sein d'un SIE

Techniques de vision par ordinateur appliquées à des images aériennes de zones inondables
Olivier Monga et Yveline Poncet
Démarche, matériel et objectifs expérimentaux
Les algorithmes de vision par ordinateur
Résultats expérimentaux
Discussion et perspectives

Vers un observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger
Méthodes, résultats et enseignements d'un dispositif expérimental
Pierre Morand, Amaga Kodio et Tiéma Niaré
Identification du projet
Méthodes et outils : le SI
Résultats, validations
Enseignements généraux
Perspectives locales et conclusion
Remerciements

Réflexions sur les systèmes d'information socio-économiques et environnementaux
Le cas d'un projet d'observatoire des pêches en Côte d'Ivoire
Marie Piron et Bruno Romagny
Vers un observatoire des pêches
L'observatoire, un instrument de veille...
L'impact des développements méthodologiques récents
Conclusion

Samba, un système multi-agents pour la compréhension des dynamiques agraires
Cas des zones de montagne du bassin du fleuve Rouge (Viêt-Nam)
Jean-Christophe Castella, Stanislas Boissau, Tran Ngoc Trung et Dang Dinh Quang
Évolution des modes d'exploitation du milieu et dynamiques agraires dans la commune de Xuat Hoa
Le modèle Samba
Conclusion

Sinuse, un outil d'exploration des interactions distribuées entre une nappe et ses usagers
Sarah Feuillette, François Bousquet et Patrick Le Goulven
Problématique et démarche
Structure du modèle Sinuse
Le modèle en fonctionnement
Conclusion et discussion

La modélisation intégrée d'un écosystème inondable
Le cas du delta intérieur du Niger
Marcel Kuper, Christian Mullon, Yveline Poncet, Elisabeth Benga, Pierre Morand, Didier Orange, Gil Mahé, Robert Arfi et Fantagoma Bamba
Le delta intérieur du Niger
Echelles, entités, principes de modélisation
Mécanismes
Expériences de simulation
Conclusion
Remerciements

Le jeu de rôles à l'interface entre systèmes réel et virtuel pour la gestion de ressources renouvelables
Exemples d'application au Sénégal
Olivier Barreteau, Patrick d'Aquino, François Bousquet et Christophe Le Page
Distance entre monde réel et monde virtuel
Le jeu de rôle comme outil de communication
Exemples d'application au Sénégal
Discussion
Conclusion

Modélisation hydraulique et gestion sociale de l'eau
Stéphanie Duvail, Ger Bergkamp, Mohamed Lemine Ould Baba, Mike Acreman et Olivier Hamerlynck
Une expérience de gestion : la remise en eau du bassin du Bell
L'apport de la modélisation
Conclusion
Remerciements

Application des méthodes de la dynamique des systèmes a la gestion intégrée des ressources en eau
Exemple du bassin versant du Mae Klong (Thaïlande)
Ekasit Kositsakulchai, Pierre Chevallier, François Molle, Patrick Le Goulven, François Valette, Eric Cadier et Alain Dezetter
Le bassin du Mae Klong
Modélisation pour la gestion intégrée des ressources en eau
Conclusion

Architecture d'infothèque pour le partage et la diffusion de résultats de recherche
L'exemple de la communauté scientifique autour du delta intérieur du Niger
Patricia Dzéakou, Pierre Morand, Christian Mullon, Yveline Poncet et Jean-Claude Derniame
Contexte, justification et spécification
Vers un nouvel outil
Conclusion

Crue, inondation et production halieutique
Un modèle prédictif des captures dans le delta intérieur du Niger
Raymond Laë et Gil Mahé
L'environnement
Les poissons et la pêche
Méthode
Résultats
Discussion
Conclusion

Partie 5. Tribune sur les observatoires environnementaux en zones inondables tropicales

Identification des voies de recherche et d'action pour une gestion durable des ZIT
Didier Orange
Conclusion

Quelques questions et propositions sur le montage des observatoires environnementaux
Christian Mullon et Serge Garcia
Communication ?
Les choses ne sont pas simples
Complexes de régulation ?
Régulation : de la perception à l'action ?
Long terme / court terme
La valeur de l'information environnementale ?
Vers une politique globale de l'information environnementale
Conclusion

Espaces, ressources, usages
Proposition méthodologique pour le suivi de la désertification dans le cadre du réseau Roselt-OSS
Maud Loireau et Jean-Marc d'Herbès
Roselt et ses objectifs
Structuration de l'espace pour l'analyse des interactions ressources/usages
Approche par module d'utilisation de l'espace et des ressources et des bilans ressources/usages spatialisés
Conclusion

Expérience du centre Agrhymet pour le suivi de l'environnement au Sahel
Mamadou Diouf, André Nonguierma et Abou Amani
Le système de collecte et d'analyse de données pour l'environnement
Perspectives : inventaire, évaluation et suivi de l'environnement naturel et socio-économique au Sahel et en Afrique de l'Ouest
Conclusion

Extension de la zone aménagée de l'Office du Niger
Exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles au service d'un enjeu national de développement
Nancoman Keita, Jean-Francois Bélières et Souleymane Sidibé
L'Office du Niger : données physiques et performances technico-économiques
Aperçu des dynamiques de développement en cours
Les enjeux pour l'extension de la zone aménagée
Conclusion

Projet Gihrex
Ambitions et acquis d'un projet de recherche pour le développement durable du delta intérieur du Niger
Didier Orange
Les ambitions
Les acquis
Importance du facteur humain
Conclusion

Agence du fleuve Niger au Mali
Un appui à la protection du fleuve et à la gestion durable des ressources de son bassin
Alain Gerbe et Seydou Bouaré
L'Agence du fleuve Niger : un outil opérationnel régional
Le comité de bassin : une instance de d'orientation, de décision et d'arbitrage
L'Agence du fleuve Niger : un outil de liaison international

Zone tropicale humide
Recherche et développement pour l'environnement en Afrique sub-saharienne
Emmanuel Naah
Caractéristiques générales de la zone tropicale humide
L'avenir du monde tropical : un besoin de « bonnes » données
L'action de l'Unesco dans le cadre du programme hydrologique international (PHI)
Conclusion

Conclusion générale. Quel cadre décisionnel pour une gestion intégrée des zones inondables tropicales ?

État des connaissances : des espaces sociaux et naturels complexes
Des concepts et cadres de développement à inventer
Prospectives

Planches couleur

Remerciements

1 Le séminaire international Girn-Zit a été organisé grâce au soutien financier :

- du département Milieux et Environnement de l'IRD (Institut de recherche pour le développement) ;
- de la division Recherche du ministère français des Affaires étrangères (Paris) ;
- de l'ambassade des Pays-Bas au Mali (Bamako) ;
- de la division Afrique du programme hydrologique international (PHI) de l'Unesco (Nairobi, Kenya) ;
- du bureau Afrique de l'UlCN (Union internationale de conservation de la nature, Gland, Suisse).

2 Nous remercions tout particulièrement le ministre chargé de l'Environnement et le ministre du Développement rural pour avoir accepté de patronner ce séminaire placé à l'interface de la recherche scientifique et du développement.

3 Les éditeurs scientifiques tiennent également à remercier :

- les membres du comité scientifique qui ont apporté un regard extérieur sur l'organisation thématique du séminaire Girn-Zit ;
- les conférenciers invités qui ont enrichi de leur expérience les débats ;
- les présidents des différentes sessions, les animateurs et l'ensemble des intervenants qui ont permis le succès scientifique de ce séminaire ;
- les chercheurs qui ont assuré la relecture et l'arbitrage des textes publiés dans ce livre ;
- Michel Gréard, Kankou Kanouté et la société DFA (Bamako) qui ont assuré le secrétariat du séminaire ;
- les personnels du Centre IRD de Bamako qui ont contribué au bon déroulement de cette manifestation.

Liste des auteurs

1 Mike **Acreman,** Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, mailto:m.acreman@ioh.ac.uk

2 Patrick **d'Aquino,** Cirad, BP 175, Saint-Louis, Sénégal, mailto:daquino@cirad.fr

3 Soumana **Alhousseini**, Isfra, BP E 475, Bamako, Mali, mailto:soumana@bamako.ird.ml

4 Abou **Amani,** Centre régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger, mailto:amani@sahel.agrhymet.ne

5 Robert **Arfi,** IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal, mailto:arfi@ird.fr

6 Issa **Bakayoko,** Institut des sciences humaines, BP 159, Bamako, Mali, mailto:cnrst-nufu@datatech.toolnet.org

7 Fatogoma **Bamba,** École Nationale d'Ingénieur, Bamako, Mali, mailto:bambaf@afribone.net.ml

8 Olivier **Barreteau,** Cirad-Tera, Baillarguet Bat E, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:barreteau@cirad.fr

9 Jean-François **Bélières,** Cirad-Tera, Office du Niger, BP 106, Ségou, Mali, mailto:belieres@cefib.com

10 Vincent **Bénech,** IRD, 213 rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France, mailto:vbenech@free.fr

11 Elisabeth **Benga,** École Supérieure Polytechnique (ESP), Ucad, Dakar, Sénégal, mailto:benga@esp.simes.sn

12 Ger **Berkamp,** UICN, Gestion des écosystèmes, 28 rue Mauverney, CH-1196 Gland, Suisse, mailto:gib@hq.uicn.org

13 Stanislas **Boisseau,** IRD, SAM-Regional program, 269 Kim Ma Street, Ba Dinh, Hanoï, Vietnam

14 Philippe **Bonté,** CEA, LSCE, Gif sur Yvette, France, mailto:philippe.bonte@lsce.cnrs-gif.fr

15 Jacques **Bonvallot** IRD, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France, mailto:bonvallo@bondy.ird.fr

16 Seydou **Bouaré,** Ministère chargé de l'Environnement, BP 2220, Bamako, Mali, mailto:nlgovbam@afribone.net.ml

17 Amadou **Boureïma,** Université A. Moumouni, FLSH, BP 418, Niamey, Niger

18 François **Bousquet,** Cirad-Tera, Baillarguet Bat E, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:bousquet@cirad.fr

19 Jean **Boutrais,** IRD, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France, mailto:boutrais@ehess.fr

20 Richard **Braund,** mailto:r&b@braund.demon.co.uk

21 Mamadou **Camara,** Gouvernorat de Mopti, Conseiller au développement, BP 034, Mopti, Mali

22 Seydou **Camara,** Saed, BP 44, Saint-Louis, Sénégal, mailto:scamara@metissacana.sn

23 Jean-Christophe **Castella,** IRD, SAM-Regional program, 269 Kim Ma Street, Ba Dinh, Hanoï, Vietnam, mailto:j.castella@cqiar.org

24 Pierre **Chevallier,** Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:pierre.chevallier@mpl.ird.fr

25 Anne **Chohin-Kuper,** Cemagref, Montpellier, France, mailto:chohin@dir.montpellier.cemaqref.fr

26 Navon **Cissé,** Direction Nationale Hydraulique, BP 66, Bamako, Mali, mailto:dnhe@malinet.ml

27 Diama **Cissouma-Togola,** Université du Mali, Flash, Bamako, Mali, mailto:diama.cissouma@voila.fr

28 Adrien **Coly,** GIRH, Tropis-environnement, Saint-Louis, Sénégal, mailto:acoly@refer.sn

29 Honoré **Dacosta,** Ucad, Département de Géographie, Dakar, Sénégal, mailto:Honore.Dacosta@ird.sn

30 Lamine **Dembélé,** ENSup, Bamako, Mali, mailto:lamine_dembele@yahoo.fr

31 Jean-Claude **Derniame,** Lorasi, 3 rue de Turique, 54000 Nancy, France, mailto:jean-Claude.Derniame@loria.fr

32 Jean-Marc **d'Herbes,** IRD, Maison de la télédétection, 500 rue J.F. Breton, 34093 Montpellier cedex 5, France, mailto:dherbes@teledetection.fr

33 Cheikh Hamallah **Diagana,** UICN Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, mailto:cdiagana@univ-nkc.mr

34 Hamalla **Diakité,** IER, Laboratoire Sol / Eau / Plante, BP 438, Sotuba, Bamako, Mali, mailto:chdiakite@ier.ml

35 Lassine **Diarra,** IER, centre Sotuba, BP 9030, Bamako, Mali, mailto:Lassine.Diarra@ier.ml

36 Samuel **Diarra,** DNH, Laboratoire de sédimentologie, BP 66, Bamako, Mali, mailto:dnhe@malinet.ml

37 Yelli **Diawara,** UICN Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, mailto:ydiawara@univ-nkc.mr

38 Kaïmama **Diénépo,** IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, mailto:amaga.kodio@ier.ml

39 Dang **Dinh Quang,** Vietnam agricultural sciences institute (Vasi), Thanh Tri, Hanoï, Vietnam, mailto:ddquang@hn.vnn.vn

40 Babacar **Diop,** Mairie, Ross Béthio, Sénégal

41 Mamadou **Diouf,** centre régional Agrhymet, Directeur Général, BP 11011, Niamey, Niger

42 Mathieu **Doray,** Ensar, 65 rue St Brieuc, 35042 Rennes cedex, France

43 Raphaèle **Ducrot,** Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France, mailto:raphaele.ducrot@cirad.fr

44 Stéphanie **Duvail,** Cereg, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg cedex, France, mailto:duvail@qeoqraphie.u-strasbq.fr

45 Patricia **Dzéakou,** IRD, centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 02, France, mailto:patricia.dzeakou@orleans.ird.fr

46 Julia A. **Earl,** Sanrem-CRSP, Universté de Géorgie, 1422 Experiment Road, Watkinsville, GA 30677, USA, mailto:sanrem@uga.edu

47 Sarah **Feuillette,** Lab. d'informatique appliquée, IRD, 32 av. Henri Varagnat, 34090 Bondy, France, mailto:Sarah.Feuillette@bondy.ird.fr

48 Lamine **Fofana,** Direction Nationale Météorologie, BP 237, Bamako, Mali, mailto:mamadou.lamine.fofana@caramail.com

49 Serge **Garcia,** FAO, Directeur de la division des Ressources halieutiques, Direction de la pêche, Viale delle Terme, di Caracalla, Roma, Italie

50 Alain **Gerbe,** Scac, Ministère chargé de l'Environnement, Bamako, Mali, mailto:agerbe@cefib.com

51 Bénédicte **Gosse-Healy,** Scac, Ambassade de France, BP 94, Bamako, Mali, mailto:scac@malinet.ml

52 Olivier **Hamerlynck,** UICN, programme zones humides, 28 rue Mauverney, CH-1196 Gland, Suisse, mailto:miromao@hotmail.com

53 Amadou **Hassane,** Ministère des Ressources en Eau, BP 257, Niamey, Niger, drehydro (ô)intnet.ne

54 Alioune **Kane,** Ucad, Département de Géographie, Dakar, Sénégal, mailto:aliounekane@sentoo.sn

55 Bréhima **Kassibo,** Institut des sciences humaines, BP 159, Bamako, Mali, mailto:cnrst-nufu@datatech.toolnet.orq

56 Nancoman **Keïta,** Office du Niger, Président Directeur Général, BP 106, Ségou, Mali

57 Amadou **Kodio,** IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, mailto:Amadou.Kodio@ier.ml

58 Amaga **Kodio,** IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, mailto:Amaga.Kodio@ier.ml

59 Ekasit **Kositsakulchai,** Doras Center, Kasetsart University, Bangkok, 10900 Thailand

60 Marcel **Kuper,** Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France, mailto:kuper@cirad.fr

61 Raymond **Laë,** IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal, mailto:Raymond.Lae@ird.fr

62 Patrick **Le Goulven,** Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:Patrick.LeGoulven@mpl.ird.fr

63 Jacques **Lemoalle,** IRD, Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:Jacques.Lemoalle@msem.univ-montp2.fr

64 Christophe **Le Page,** programme ERE, Cirad-Tera, av. Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5, France

65 Gaston **Liénou,** Centre de Recherches Hydrologiques, BP 4110, Yaounde, Cameroun, mailto:sighomno@camnet.cm

66 Maud **Loireau,** Cirad, Maison de Télédétection, 500 rue J.F. Breton, 34093 Montpellier cedex 5, France, mailto:loireau@teledetection.fr

67 Hamidou **Magassa,** Service d'experts pour les ressources naturelles et l'environnement au Sahel (SERNES), ACI 2000, Hamdallaye, Bamako, Mali

68 Gil **Mahé,** IRD, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina-Faso, mailto:mahe@hydro.ird.bf

69 Hamadoun **Maïga,** IRD, BP 2528, Bamako, Mali, mailto:hmaiga@bamako.ird.ml

70 Ousmane **Maïga,** IRD, BP 2528, Bamako, Mali, mailto:omaiga@bamako.ird.ml

71 Jérôme **Marie,** Université Paris X, 92001 Nanterre cedex, France, mailto:marie@msh-paris.fr

72 Bertrand **Marieu,** Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:Bertrand.Marieu@msem.univ-montp2.fr

73 Adama **Mariko,** École Nationale d'Ingénieur, Bamako, Mali, mailto:amariko@bamako.ird.ml

74 Serge **Marlet,** Cirad-Amis, TA 40/01, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5, France, mailto:serge.marlet@cirad.fr

75 Brahim Ould **Messaoud,** UICN Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, mailto:braza92@hotmail.com

76 Michel **Meybeck,** Université Paris VI, UMR Sisyphe 7619, Case 123, Tour 26 étage 4, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 10, France, mailto:meybeck@biogeodis.iussieu.fr

77 Olivier **Mikolasek,** Cirad-EMVT, BP 10544, Niamey, Niger, mailto:Olivier.Mikolasek@cirad.fr

78 François **Molle,** Doras Center, Kasetsart University, Administrative building 10th floor, 10900 Bangkok, Thailand, mailto:odoras@nontri.ku.ac.th

79 Olivier **Monga,** IRD, 213 rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France, mailto:monga@paris.ird.fr

80 Pierre **Morand,** IRD, SIH-Ifremer, Av. Jean Monnet, 34200 Sète, France, mailto:morand@ird.fr

81 William G. **Moseley,** Macalester College, Geography Dep., 1600 Grand avenue, St Paul, MN 55105-1899, USA, mailto:moseley@macalester.edu

82 Christian **Mullon,** IRD, University of Cape Town, dep. of Oceanography, 7701 Rondebosh, South-Africa, mailto:cmullon@phvsci.uct.ac.za

83 Emmanuel **Naah,** Unesco, Bureau régional Afrique, BP 30592, Nairobi, Kenya, mailto:E.Naah@unesco.org

84 Mamadou Kabirou **N'Diaye,** IER/PSI-Coraf, BP 258, Bamako, Mali, mailto:kabirou.ndiaye@ier.ml

85 Daniel **Ngantou,** UICN project office, BP 284, Maroua, Cameroon, mailto:pwl@iccnet.cm

86 Tran **Ngoc Trung,** IRD, SAM-Regional program, 269 Kim Ma Street, Ba Dinh, Hanoï, Vietnam

87 Benjamin **Ngounou Ngatcha,** Université de Ngaoundéré, dép. Se. de la Terre, BP 454, Ngaoundéré, Cameroun, mailto:bngounou@uvcdc.uninet.cm

88 Tiéma **Niaré,** IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali

89 Roger **Njitchoua,** Université d'Orsay, lab. d'hydrologie et de géochimie isotopique, 91405 Orsay, France, mailto:shq-rn@andra.fr

90 André **Nonguierma,** Centre régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger, mailto:nonguierma@sahel.agrhymet.ne

91 Marie-Laure **de Noray,** 4 rue Germain, 34000 Montpellier, France, mailto:mldenoray@hotmail.com

92 Jean-Claude **Olivry,** IRD, Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:jean-claude.olivry@wanadoo.fr

93 Didier **Orange,** IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France, mailto:orange@ird.fr

94 Marc **Oswald,** APDRA-F, 3 square Guimard, 78960 Voisin le Bretonneux, France

95 Mohamed Lemine **Ould Baba,** Bureau de liaison UICN-Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, mailto:ouldbaba@univ-nkc.mr

96 Cécile **Picouet,** Blancherie 32, CH-1022 Chauvannes, Renens, Suisse, mailto:cpicouet@yahoo.fr

97 Marie **Piron,** IRD, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France, mailto:piron@bondy.ird.fr

98 Yveline **Poncet,** IRD, centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 02, France, mailto:Yveline.Poncet@orleans.ird.fr

99 Bruno **Romagny,** IRD, Centre IRD Petit Bassam, 04 BP 293, Abidjan 04, RCI, mailto:Bruno.Romagny@ird.ci

100 Antoine **Royer,** Centre Régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger, mailto:rover@sahel.agrhymet.ne

101 Odiaba **Samaké,** IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, mailto:Odiaba.Samake@ier.ml

102 Eric **Servat,** Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, mailto:servat@msem.univ-montp2.fr

103 Bruno **Sicard,** IRD, BP 2528, Bamako, Mali, mailto:sicard@afribone.net.ml

104 Modibo **Sidibé,** IER, Directeur Général adjoint, BP 258, Bamako, Mali

105 Souleymane **Sidibé,** Office du Niger, BP 106, Ségou, Mali

106 Luc **Sigha Nkamdjou,** Centre de recherches hydrologiques, BP 4110, Yaounde, Cameroun, mailto:sighomno@camnet.cm

107 Daniel **Sighomnou,** Centre de recherches hydrologiques, BP 4110, Yaounde, Cameroun, mailto:sighomno@camnet.cm

108 Abdourhamane **Soumaguel,** Direction Nationale Hydraulique, BP 66, Bamako, Mali, mailto:dnhe@malinet.ml

109 Pape Ousmane **Soumaré,** Ucad, dép. Géographie, Dakar, Sénégal, mailto:Pape.Soumare@cnrs-bellevue.fr

110 Mariama **Sow,** Institut du Sahel (Insah), Cils, Bamako, Mali, mailto:msow@prisas.insah.ml

111 Michel **Tchotsoua,** Université de Ngaoundéré, dép. Géographie, BP 553, Ngaoundéré, Cameroun, mailto:tchotsoua@yahoo.fr

112 Ibrahim **Thiaw,** UICN, Bureau régional d'Afrique de l'Ouest, 01 BP 1618, Ouagadougou, Burkina Faso, mailto:brao@iucn.org

François **Valette,** CNRS, Université Montpellier II, 34095 Montpellier, France

Jacques **Weber,** Cirad, Campus du Jardin tropical, 94736 Nogent-sur-Marne, France, mailto:weber@hpnogent.cirad.fr

Dieudonné **Zallé,** Commune V, Bamako, Mali, mailto:rocare@datatech.toolnet.org

Jean **Zaslavsky,** 4 passage de la Main d'Or, 75011 Paris, France, mailto:jean.zaslavsky@wanadoo.fr

Liste des référés

1 Abou **Amani,** François **Bousquet,** Jean **Boutrais,** Christian **Chaboud,** Pierre **Chavance,** Georges **Deffuant,** Marie-Jo **Demante,** Jean-Claude **Derniame,** Eric **Cadier,** Paul **Carré,** Philippe **Cecchi,** François **Cuq,** Guy **Faure,** Guy **Fontenelle,** Josette **Garnier,** Sylvain **Guilloré,** Bréhima **Kassibo,** Jérôme **Lazard,** Jacques **Lemoalle,** Jean-Paul **Luc,** Gil **Mahé,** Jérôme **Marie,** Michel **Meybeck,** Christian **Mullon,** Tiéma **Niaré,** Jean-Claude **Olivry,** Jean-Emmanuel **Paturel,** Edith **Perrier,** Marie **Piron,** Jean-Yves **Pirot,** Alain **Poulet,** Pierre **Ribstein,** Martine **Rodier,** Jean-Philippe **Tonneau**

Préface

Bino Témé

1 Les zones inondables tropicales, et plus généralement les zones humides situées dans les régions arides, focalisent de plus en plus l'attention de tous, car elles constituent un potentiel de ressources indispensables à la survie de l'homme et un atout souvent inespéré pour le développement économique du pays concerné. Elles se trouvent donc soumises à de fortes pressions qui peuvent mettre en cause leurs équilibres écologiques et leur capacité de production de ressources. De plus, la croissance démographique, les progrès technologiques, l'émancipation des personnes, d'un côté, et les sécheresses récentes successives, de l'autre, ont contribué à bouleverser les règles sociales, à transformer les rapports de force entre responsables traditionnels et usagers des ressources naturelles renouvelables, débouchant sur des conflits de grande envergure et de plus en plus nombreux.

2 Il devient donc urgent d'utiliser des voies nouvelles permettant un engagement consensuel entre les utilisateurs de l'eau et de l'espace, les gouvernements, les partenaires du développement, et la société civile en général. Ces voies nouvelles doivent intégrer la prise en compte de la distribution spatiale des populations, de la répartition géographique des ressources naturelles et du niveau de pression sur ces ressources par rapport à leur propre capacité de réponse. Elles doivent aboutir à de nouvelles modalités de gestion des ressources naturelles, modalités fondées sur les principes directeurs de coordination et d'intégration des utilisations. C'est dans cette perspective que le séminaire international sur la *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales* a rassemblé des scientifiques, des gestionnaires et des décideurs politiques de plusieurs pays et de nombreuses institutions maliennes, étrangères ou internationales, en juin 2000 au Mali. Ce séminaire constituait l'étape finale du projet de recherche Gihrex de l'Institut de recherche pour le développement en collaboration avec l'Institut d'économie rurale, l'Université du Mali et quelques directions nationales maliennes concernées.

3 Pour le Mali, ce séminaire fut une étape pour la promotion des travaux et des outils de la recherche sur la vaste zone inondable malienne que représente le delta intérieur du Niger. C'est pourquoi je salue aujourd'hui tout particulièrement la publication des actes de ce séminaire. Ces actes ont le mérite de tenter d'assurer la cohérence des efforts de recherche et de développement des différents acteurs concernés par la gestion des

ressources naturelles en zone inondable. On y parle aussi bien des problématiques socio-économiques et politiques liées à la gestion intégrée des ressources naturelles que des processus de production durable de ces ressources ou des stratégies de leur exploitation ou encore des moyens d'échanger l'information environnementale.

4 En effet, la gestion intégrée dépasse le simple inventaire des éléments du système naturel et des systèmes sociaux associés. Il convient de partager les expériences et ensuite de définir ensemble l'avenir, de façon concertée. C'est déjà par la compréhension mutuelle des représentations et des discours que s'amorcera une gestion intégrée effective et durable, et que sera poursuivie une recherche utile pour la conservation et l'exploitation de nos ressources et pour le développement de nos pays et de nos sociétés. D'ailleurs dans sa dernière partie, ce volume se tourne vers l'action en s'interrogeant sur le rôle de la recherche dans la mise en place de structures opérationnelles pour la réalisation d'un observatoire environnemental. La conclusion définit quelques-unes des conditions nécessaires à la construction d'une plate-forme d'échanges – et l'amorce d'une boucle d'utilisation – de l'information environnementale, seules garanties de la durabilité d'une telle initiative.

5 Mobiliser ensemble les acteurs, préciser les interrogations pour obtenir des réponses efficaces et durables, partager l'information sont autant de défis à relever pour une gestion durable des ressources naturelles et pour le bien des générations futures. La gestion intégrée est une solution d'un problème qui nous concerne tous.

6 Bamako, le 28 avril 2002

AUTEUR

BINO TÉMÉ

Directeur général de l'Institut d'économie rurale (Bamako, Mali)

Introduction générale. Développement durable et gestion intégrée des zones inondables tropicales

« Mais si nous intégrons les questions d'environnement et de développement et si nous accordons une plus grande attention à ces questions, nous pourrons satisfaire les besoins fondamentaux, améliorer le niveau de vie pour tous, mieux protéger et mieux gérer les écosystèmes et assurer un avenir plus sûr et plus prospère. »

Agenda 21, Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement, Rio de Janeiro, 3-14 juin 1992.

1 Dans le contexte actuel de la mondialisation et de « l'avenir incertain », les problématiques scientifiques du développement s'orientent vers la recherche de moyens pour prévoir les conséquences des actions anthropiques. De plus en plus, la société civile demande à la recherche scientifique d'amener des solutions pour éviter les dérives d'un développement non contrôlé et de la croissance à l'échelle globale : gaspillage ou destruction des ressources primaires, iniquité de la satisfaction des besoins élémentaires des individus, négligence à l'égard des générations futures. Ces dérives sont combattues à travers le concept de « *développement durable* » appliqué aux trois champs d'investigation principaux que sont la politique, l'économie et l'environnement. Le rapport Brundtland (Brundtland, 1987), texte préparatoire à la conférence de Rio de 1992, constitue l'acte inaugural de cette nouvelle vision. La perspective de Rio+10 (Johannesburg, août 2002) suivie du 3e forum mondial de l'eau (Kyoto, mars 2003), et du fait que 2003 est consacrée « année de l'eau » attirent particulièrement l'attention cette année 2002 sur les questions liées à l'eau, patrimoine nécessairement partagé dont l'abondance ou la pénurie conditionnent largement les processus de développement durable.

2 Ainsi à l'aube du troisième millénaire, le monde agricole se trouve confronté à un nouveau paradigme : *développer des systèmes durables et respectueux de l'environnement pour garantir la sécurité alimentaire,* paradigme sous-tendu par la nécessité de laisser un accès équitable à l'eau. Cette notion introduit deux dimensions supplémentaires qui sont le temps et le partage, et donne alors toute leur importance aux études de prospective permettant d'allonger l'horizon temporel des stratégies de développement et des politiques d'aménagement. Penser au développement durable conduit donc à une vision systémique de l'écosystème, et pas seulement fonctionnelle et spécialisée. Un certain nombre de principes découlent d'une telle démarche : on se doit de préserver l'environnement pour son utilisation future, l'accès aux ressources naturelles et leur distribution doivent être assurés de manière équitable, et enfin il est indispensable d'éviter tout processus aux conséquences irréversibles. Ces nouvelles contraintes nécessitent des changements dans la prise de conscience des enjeux et du rapport au milieu et donc à l'environnement. Elles impliquent la participation de tous les acteurs à tous les niveaux et favorisent une approche interdisciplinaire, globale et participative pour nourrir les conditions d'une bonne gouvernance.

3 Dans ce contexte, les zones inondables tropicales prennent une place toute particulière à l'échelle globale pour la sauvegarde de la biodiversité et pour la durabilité de ces grands écosystèmes aux particularismes importants. En effet, ces espaces continentaux sont soumis à l'alternance saisonnière entre dessèchement et submersion par des eaux douces ou saumâtres, induisant des organisations biophysiques particulières souvent plus productives en biomasse que leurs voisinages. Ils deviennent alors de véritables réservoirs à ressources naturelles renouvelables[1] – ou ressources vivantes –, s'accompagnant souvent d'organisations humaines spécifiques. Ainsi, au-delà de l'eau donnant existence à la zone inondable, les ressources naturelles renouvelables en font un enjeu économique de première importance pour les pays émergents des zones tropicales. Mais ces zones sont fragiles, car leur productivité n'est souvent pas assurée du fait que les caractéristiques biophysiques ne sont pas ou peu protégées dans les politiques de développement. Cette fragilité est double du fait de la dualité d'existence de la zone inondable qui est à la fois un espace naturel et un espace social.

Les zones inondables tropicales : de nouveaux espaces à développer

4 Les zones inondables tropicales constituent des écosystèmes spécifiques, dont les qualités sont liées à des caractères bien particuliers : saisonnalité et régularité des eaux, inondation positive pour les sociétés qui en vivent, espaces convoités car très valorisables grâce à l'eau. Par ailleurs, elles sont souvent peu aménagées alors qu'elles sont déjà exploitées (et souvent depuis longtemps). Enfin, les zones inondables tropicales avec leurs ressources naturelles renouvelables revêtent un intérêt économique majeur car elles sont peuplées de populations dépendantes des ressources naturelles pour leur subsistance du fait de leur accès restreint aux autres ressources économiques. Au cours de ces dix dernières années, ces zones, soumises à des pressions d'exploitation croissantes et concernées au premier chef par les aménagements hydrauliques et hydroagricoles sont donc devenues l'objet de toutes les attentes des programmes internationaux défenseurs de la biodiversité et de l'environnement.

5 La zone inondable se définit à partir des inter-relations entre eaux et sociétés. D'une part, la variabilité spatio-temporelle de l'eau explique l'ensemble des fonctionnalités de l'hydrosystème. D'autre part, les stratégies d'exploitation définissent les relations fonctionnelles entre productivité et milieu naturel. Par ailleurs, une zone inondable est une zone sans limite bien définie à cause de la grande variabilité interannuelle de l'extension de l'inondation. Et pourtant, du fait de gradients biotiques forts entre la zone inondée (ou inondable) et la zone sèche (ou non inondable), les effets de bordure sont importants et la zone inondable se trouve donc bien individualisée. De plus, on retrouve cette forte différenciation dans les liens du couple eaux / sociétés, dont les caractéristiques permettent aussi de définir la zone inondable.

6 Enfin, la variabilité de l'eau additionnée au compartimentage topographique inhérent à ce type de milieu engendre des espaces naturels variés coexistant au fil de l'eau au milieu de processus chaotiques ou ordonnés, constituant une mosaïque d'opportunités d'exploitation multiformes et contradictoires. Cette instabilité –aussi bien dans le temps que dans l'espace – se traduit par deux appréciations antagonistes. D'une part, elle laisse à l'observateur une forte impression de fragilité du milieu (malgré sa richesse en ressources naturelles), qui est couramment associée à la notion de risque écologique, et par voie de conséquence à la notion de risque social, économique et politique. A l'opposé, cette variabilité naturelle s'accompagne d'un fort pouvoir de resilience, ce qui donne aux zones inondables leur principale caractéristique, qui est de revivre chaque année à l'arrivée des eaux de crue. Et cette fois, paradoxalement l'observateur appréhende alors la zone inondable comme un milieu immuable.

7 Fortement dépendante de la quantité et de la qualité des eaux y entrant, la zone inondable fonctionne comme un système ouvert. Par ailleurs, contrairement aux zones inondables des pays tempérés, les zones inondables tropicales sont pour la plupart des zones de transfert et de communication entre les personnes et pour les marchandises. Aussi, loin d'être des zones frontières, les zones inondables deviennent des zones d'échanges et de liaison, impliquant un grand nombre d'acteurs *in situ* et hors site, influencées par des contextes hydroclimatiques et socio-économiques plus larges que ceux de la zone inondable proprement dite.

De l'exploitation à la gestion intégrée : entre arbitraire et gouvernance

8 De par sa caractéristique de zone à compartiments fonctionnels fluctuants et pourtant bien individualisés, les conflits entre systèmes d'exploitation sont inhérents à la nature des zones inondables. Mais dans une nécessité de durabilité, les sociétés ont appris à rendre ces conflits moteurs de l'exploitation du milieu : un système d'exploitation chasse l'autre, et ainsi de suite... La zone inondable tropicale est donc caractérisée par des conflits fonctionnels entre les usagers du milieu et sous forte dépendance de la disponibilité en eau, laquelle est fonction de la variabilité climatique, de la démographie et, de plus en plus, des aménagements. Dans ce contexte, le concept de développement durable peut être matérialisé par une gestion intégrée qui prenne en compte l'ensemble des relations entre nature et sociétés au sein du système inondable. Mais le souci de durabilité – ne pas dégrader l'environnement tout en l'exploitant – implique à la fois une dimension sociale, politique et technologique. La gestion intégrée, – ou encore gestion

durable d'un écosystème –, doit en effet prendre en charge tout un ensemble de processus complexes aussi bien biophysiques que sociaux ou économiques.

9 Devant cet espace immense par sa diversité et aux dynamiques multiples, la tentation est grande de détourner cette interrogation globale vers des enjeux particuliers et donc réducteurs. Cette démarche est classique et très largement répandue mais ne peut répondre au principe de précaution impliqué par la notion de durabilité. Il convient alors d'éclairer la prise de décision arbitraire par une mise en association des acteurs concernés par la gestion de l'écosystème (la société civile, les intérêts privés, les pouvoirs publics,...). Pour cela, la concertation, en tant que processus de décision reposant sur une interaction élargie entre États, groupes sociaux, voire individus, constitue le cadre idéal de mise en application de la notion de gestion intégrée. C'est dans ce cadre que cet ouvrage de propose de s'interroger sur les modalités de mise en application de ces concepts : comment l'évolution des connaissances scientifiques sur les milieux naturels, sur les processus de renouvellement des ressources, sur les sociétés et leurs stratégies d'une part, et les progrès des moyens cognitifs d'autre part, peuvent-ils permettre d'envisager des gestions intégrées spécifiques aux zones inondables tropicales ?

Le séminaire Girn-Zit : entre science et citoyens

10 Le séminaire Girn-Zit[2] (de juin 2000 à Bamako) – concernant les connaissances liées aux modalités de gestion des ressources naturelles en zones inondables tropicales – a été l'occasion d'ouvrir des champs de réflexion et d'échange d'expérience, afin de discuter de nouveaux cadres et outils permettant de prendre en compte la variété des situations (des liens) existant entre l'eau, le système naturel et les systèmes sociaux. Il a essayé de mettre en relation les trois pôles d'acteurs que sont les gouvernants, les scientifiques et les citoyens. Pour cela, il a abordé la gestion tropicales intégrée de plusieurs hydrosystèmes par une grille de lecture commune qui associe les ressources et la disponibilité en eau, les systèmes de productions et les acteurs, les connaissances et les systèmes d'information.

11 Le séminaire Girn-Zit a donc été volontairement un séminaire à large spectre d'intervention, aussi bien au niveau des thématiques scientifiques abordées qu'au niveau des acteurs présents. Initié par le projet de recherche Gihrex et soutenu par le groupe malien de réflexion pluridisciplinaire Cerdin, il a permis la présentation orale de 50 communications et d'une vingtaine de posters. Il a réuni à Bamako (Mali) durant quatre jours 160 personnes représentant chercheurs, gestionnaires et décideurs.

Besoins de connaissances et d'informations : les actes du séminaire

12 Cet ouvrage constitue les actes du séminaire Girn-Zit. Il répond à un besoin fort d'échange de connaissances et d'informations apparu lors du séminaire du fait de la multidisciplinarité et de la multiplicité d'origine des acteurs présents. Les éditeurs scientifiques ont choisi d'organiser ce livre en cinq parties calquées sur les quatre thèmes du séminaire, la dernière partie étant une tribune donnant quelques états de réflexion sur des expériences de gestion environnementale en zone tropicale.

13 La première partie, présentée par Yveline Poncet, discute des contraintes socio-économiques et politiques de la gestion intégrée des ressources naturelles en zones

inondables tropicales. Ces contraintes sont liées à l'organisation particulière des sociétés dans les zones inondables. En effet, à l'image de l'extrême variabilité de leurs processus naturels, les sociétés humaines les exploitant sont mobiles, adaptables et innovatrices, d'où une prise de conscience naturelle de la notion de partage du milieu pour un accès privé aux ressources. Les interactions entre systèmes sociaux et systèmes naturels sont alors particulièrement fortes : on parlera de sociosystème. La deuxième partie, présentée par Robert Arfi, donne un ensemble d'exemples sur les processus d'édification des ressources naturelles dans ces écosystèmes continentaux particuliers. Une attention majeure est portée à l'impact de la dynamique spatio-temporelle de l'eau sur la fertilité des milieux dans une perspective de quantification de la richesse, en soulignant tout particulièrement les effets de seuil pouvant conduire à des effets irréversibles sur les conditions de renouvellement des ressources naturelles. Ensuite, la troisième partie, présentée par Marcel Kuper, discute des stratégies d'exploitation de ces ressources naturelles et met en évidence les impacts d'aménagements hydrauliques ou hydroagricoles. Le caractère résilient des différents processus naturels nécessite une adaptation très rapide des stratégies d'exploitation des acteurs aux nouvelles conditions de fonctionnement de l'hydrosystème. Et les dynamiques socio-économiques qui en résultent répondent rarement à un schéma déterministe et à une vision figée de l'appropriation foncière, ce qui est une contrainte forte pour tout essai de compréhension ou de modélisation nécessaire à une approche prospective d'un projet d'aménagement. La quatrième partie, présentée par Pierre Morand, fait le point sur les sciences cognitives, qui apportent des outils et des moyens efficaces de mise à disposition de l'information environnementale (modélisation de systèmes complexes, systèmes d'informations, observatoires,...). En effet, les liens entre systèmes sociaux et systèmes naturels, particulièrement forts dans les zones inondables tropicales, font que la circulation et le partage de l'information y sont une nécessité bien plus grande que partout ailleurs, à cause de l'évolution très rapide des stratégies d'exploitation en réponse aux dynamiques naturelles. Enfin la cinquième partie, présentée par Didier Orange, s'interroge à partir de cas concrets sur les concepts et outils aujourd'hui disponibles pour établir des liens dynamiques entre recherche et développement afin de permettre une gestion durable et viable des ressources naturelles renouvelables. Du fait que dans une zone inondable, les paysages et les modes de vie sont très fortement et rapidement conditionnés par la disponibilité en eaux, le moindre aménagement devient vite un problème de société et implique très tôt, et plus que dans tout autre écosystème, l'intervention des structures politiques.

14 Pour conclure cette introduction générale, au-delà de la toujours nécessaire évolution des connaissances, les débats ont mis en exergue la nécessité de nouvelles approches de la gestion de l'eau, des espaces et des ressources vivantes, afin de préserver les écosystèmes tout en prenant en compte les besoins des différents usagers. Le caractère fragile de la ressource naturelle renouvelable, l'association à tous les échelons des usagers, planificateurs et décideurs de l'eau et de l'espace dans la gestion de l'écosystème, la participation et l'implication de la recherche dans ce processus semblent clairement admis. Aujourd'hui, la société civile interpelle directement la science pour la recherche de modalités de gestion plus performantes, intégrées dans une vision globale de la ressource naturelle renouvelable et de son exploitation durable, basées sur un réseau dynamique et évolutif d'échanges de l'information et de discussion.

BIBLIOGRAPHIE

Ce texte a été rédigé avec le support bibliographique suivant :

Brundtland G., 1987 – *World commission on environment and development : our common future.* Oxford, Oxford University press, 400 p.

Chaboud C, Gillon Y., 2000 – « Une préoccupation mondiale pour les ressources renouvelables ». *In* Gillon Y., Chaboud C, Boutrais J., Mullon C. (éd.) : *Du bon usage des ressources renouvelables,* Paris, IRD, coll. Latitudes 23 : 17-25.

Gepis, collectif, 2000 – *Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes.* UICN, 214 p.

Jain H. K., 2001 – Sécurité alimentaire : nouveau siècle, nouvelle recherche. *Courrier de la Planète,* 62 : 52-55.

Kalaora B., 1999 – « Global expert : la religion des mots ». *In : Ethnologie française, Les mots des institutions,* Paris, PUF, 24 (4) : 513-527.

Lhoste P., Tonneau J.-P., Trébuil G., 1999 – Recherche écorégionale et développement régional : enjeux, démarche et outils. *Les Cahiers de la Recherche Développement,* Cirad, 45 : 7-36.

Sebillotte M., 2001 – Des recherches en partenariat « pour » et « sur » le développement régional. *NSS,* Paris, 9 (3) : 5-7.

Ténière-Buchot P.-F., 2001 – Décision, expertise, arbitraire et transparence : éléments d'un développement durable. *Courrier de l'environnement de l'INRA,* 44 :41-52.

NOTES

1. Précisons que nous reprenons l'acception du concept de ressources naturelles décrit par Chaboud et Gillon (2000). Il s'agit « d'une production [biologique] spontanée exploitée sans transformation qualitative. [...] Le terme renouvelable est lié aux vitesses respectives d'exploitation et de restauration de la ressource. »
2. Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables

Partie 1. Problématique socio-économique et politique de la gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales

Hydrosystèmes, sociosystèmes

Yveline Poncet

1 Les travaux consacrés à la gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales s'ouvrent très à propos sur l'approche qu'en font les sciences de la société. L'expression « gestion intégrée » retient l'intérêt des sciences sociales parce qu'elle mobilise l'ensemble des acteurs du développement : ceux qui prévoient, qui projettent et qui décident, ceux qui conseillent et recommandent, ceux qui agissent et qui produisent, ceux qui analysent les conséquences des modes de gestion observés aux multiples échelles spatiales et temporelles. Les journées de Bamako ont rassemblé autour de cette idée de gestion intégrée, des acteurs qui travaillent dans les multiples champs du développement : de la décision politique à l'organisation de la production, de la recherche scientifique à l'organisation technique, dans lesquels les compétences s'exercent à différentes échelles de décision et d'action : nationale, régionale, locale.

2 La notion moderne de gestion intégrée a été proposée dans les années 1930 pour optimiser l'exploitation d'hydrosystèmes dégradés tels que la vallée du Tennessee (États-Unis). Depuis, la notion de gestion intégrée s'est en partie spécialisée et en partie élargie. Nous la reprenons ici non seulement pour intégrer les éléments multiples du milieu naturel inondable, mais aussi pour impliquer les acteurs et les échelles multiples de son développement économique et social. Le développement intégré est pris comme le contraire du développement sectoriel, qui ne s'occupe que d'un type d'activité, d'un type d'aménagement. L'évolution actuelle des contenus du développement fait que les objectifs de la gestion intégrée s'expriment vigoureusement en termes économiques et sociaux. La croissance économique, la paix sociale, la lutte contre la pauvreté, la communauté de projets sont les plus constamment évoqués par les sociétés concernées. Ces termes, légitimes dans tous les contextes, prennent un sens fort quand il s'agit d'aires inondables tropicales. Isolées par des moyens de communication forcément compliqués, elles sont longtemps restées à l'écart des actions de modernisation et de construction d'équipements. On attend d'elles maintenant qu'elles rattrapent leur retard, par l'augmentation des revenus des ménages, la production de plus-values, l'élévation des capacités de financement, une participation plus élevée aux efforts nationaux. L'usage des richesses naturelles dans un contexte socio – économique menaçant (exprimé en termes de raréfaction, risques, concurrences) est souvent disputé entre communautés ; l'accès à

des ressources mouvantes et sous dépendance (des eaux d'amont, des sociétés voisines) exige le maintien de délicats équilibres sociopolitiques ; la réduction ou la disparition des conflits et des crises, la mise en visibilité des structures d'arbitrage et de négociation, la réduction des inégalités sont des objectifs affichés. La mise en œuvre des politiques de démocratisation, de pluralisme et de décentralisation accroît la valeur donnée au consensus social autour de projets communs appropriés par leurs acteurs, autour de partitions de l'espace légitimées par la communauté, et autour de valeurs et de stratégies partagées pour la construction de l'avenir. La réalisation apparaît comme difficile dans les milieux instables que sont les aires inondables où les modèles agricoles des aires sèches voisines ne sont pas directement applicables.

Les caractères sociaux des aires inondables

3 L'instabilité géographique de l'inondation et les mosaïques de « pays » qu'elle induit s'accompagne d'adaptations sociales particulières. La source de richesse essentielle, l'eau fluviale, prend souvent sa source dans un secteur géographique extérieur à la région inondable elle-même. Ceci induit une fragilité sociale et politique puisque les exploitants locaux ne maîtrisent guère leur ressource principale. Le risque de déficit hydrique (davantage que le risque d'excès en eau) induit une insécurité (et donc un besoin de prévisions) et une nécessaire adaptation des systèmes de production, des moyens de transport et des axes commerciaux aux modifications de l'inondation dans l'espace et dans le temps. Depuis plusieurs décennies, les aménagements hydrauliques lourds (chenalisations, barrages hydroélectriques, constructions de périmètres irrigués) se sont multipliés dans et autour des zones inondables, induisant des modifications dans le cycle et les dimensions de l'inondation, une dépendance des producteurs à l'égard de ces ouvrages et une perte de maîtrise (au moins partielle) par les gestions locales : cette forme de développement régional produit une fragilité et une insécurité encore plus élevées.

4 Dans les zones inondables, les sociétés rurales observent des règles de voisinage dont les principes paraissent simples (« ne pas intercepter tout le poisson », « ne pas empêcher le passage du bétail ») mais dont le détail est compliqué. Ces règles sont destinées entre autres à assurer la succession des activités productrices dans le temps et une régulation des concurrences dans l'espace. En effet, le balancement entre crue et étiage entraîne le déplacement ou la disparition temporaire de certaines ressources : les migrations des poissons vers les plans d'eau permanents, le dessèchement des herbages, l'inaptitude des terres à la riziculture accompagnent la décrue naturelle. Une partie des producteurs suit le balancement saisonnier en se déplaçant sur les lieux favorables : d'une part, favorables au sens biophysique (abondance de poissons aisément capturables, riches pâturages et points d'eau quasi permanents, terres fertiles et submersibles) ; d'autre part, favorables au sens social (c'est-à-dire sur les lieux où les relations sociales, les négociations politiques et les événements historiques légitiment les usages, les prélèvements et les décisions de gestion). Ainsi les aires inondables sont non seulement des territoires de production, mais aussi des territoires de migrations et de transhumances à l'intérieur de leurs propres limites et aussi avec leurs voisinages non inondables.

5 A la « navigation entre les extrêmes » à laquelle ils sont contraints, les acteurs (les producteurs paysans en premier lieu) répondent par une réelle adaptabilité et flexibilité des règles, des associations et des négociations, et des formes de tolérance aux

transgressions. Or, les aires inondables sont aussi le théâtre et le prétexte à de nombreux et durables conflits. Bon nombre de ceux-ci sont décrits comme des concurrences économiques et foncières (raréfaction des ressources, appropriation des terres) mais l'on manque d'analyses fines à leur sujet dans les zones inondables d'Afrique de l'Ouest. Concurrences et conflits s'exercent dans des milieux où les solutions sociales, administratives et juridiques ont perdu la légitimité qu'elles avaient pu posséder dans le passé. La pratique des nouvelles procédures de démocratisation et de décentralisation pose alors des problèmes différents de ceux des zones sèches voisines, supposées plus homogènes. Celles-ci connaissent déjà des statuts, des usages et des droits compliqués, ceux des zones inondables le sont davantage encore. Les erreurs et négligences de gestion (des ressources, des espaces, des usages) peuvent y avoir de plus lourdes conséquences, aisément propagées d'un bout à l'autre du réseau inondable. Les *a priori,* les généralités, les ignorances, les hypothèses non vérifiées peuvent faire des ravages : il est donc extrêmement important que les exploitants ruraux et les décideurs communaux ne se retrouvent pas seuls pour gérer le présent et l'avenir en même temps que les conséquences des maladresses du passé (Poncet et Orange, 1999). Les processus naturels et sociaux à l'œuvre dans les aires inondables sont fortement gouvernés par leurs dimensions spatiales et par leurs dimensions temporelles. La mosaïque spatiale des milieux, des paysages, des systèmes d'exploitation, des structures de gestion organise le jeu et la mobilité (ou au contraire la rigidité) de niveaux d'organisation différents dont les éléments multiples s'emboîtent, se juxtaposent, se superposent ou créent des vides ; on peut d'ailleurs transposer la métaphore pour décrire l'importance du temps (Poncet, 1999, 2000). Par ailleurs, les enjeux économiques des zones inondables apparaissent désormais comme considérables car leurs productions sont essentiellement vivrières en même temps que diversifiées : poisson (frais, séché ou fumé), riz, fourrage fauché, viande, lait, bois... Ces dimensions et contradictions multiples encouragent actuellement les analystes (décideurs, chercheurs, médiateurs) à expérimenter des approches résolument intégratrices. Aussi en Afrique de l'Ouest, les zones inondables sont-elles en cours de reconnaissance pour leur intérêt hydraulique et économique : stockage de l'eau, productivité élevée avec peu d'investissements, possibilité d'améliorer leurs performances... En même temps, vingt ans de déficit hydrologique et pluviométrique, des crises sociales et des expériences coûteuses ont montré la sensibilité des systèmes inondables aux transformations maladroites. Les idées contenues dans la notion de gestion intégrée y paraissent donc encore plus légitimes.

Gestion intégrée, une illustration tropicale africaine

6 Les aires inondables de l'Afrique de l'Ouest (delta intérieur du Niger, *waalo* du fleuve Sénégal, plaines du Chari-Logone, lits majeurs de nombreux cours d'eau) appartiennent à un réseau hydrographique ; elles sont enclavées et souvent moins bien équipées que leurs voisinages ; leurs populations sont nombreuses par rapport aux zones sèches avoisinantes ; elles constituent un élément dans des systèmes de production mobiles (déplacements de travail, transhumance de bétail, multi-activité). Les organisations politiques et administratives y sont compliquées par une longue histoire et par des modernisations spectaculaires. Plusieurs systèmes de gestion des ressources s'y superposent[1], qu'il serait trop simple d'opposer en traditionnels et modernes : les systèmes de gestion issus des pratiques et des règles locales qui ont évolué dans le temps

long et qui continuent d'évoluer ; ceux issus des principes de productivité et de rentabilité et qui sont appuyés sur les aménagements techniques. Ces systèmes n'impliquent pas les mêmes hiérarchies d'acteurs. Or, après que les gestions modernes aient développé des actions *top-bottom* sans tenir compte explicitement de tous les acteurs – en fait sans prendre leurs avis –, les preneurs de décisions et les chercheurs s'accordent pour promouvoir vigoureusement des approches qui tiennent compte des divers niveaux d'acteurs, et tout particulièrement des acteurs de la production rurale primaire. La question se pose désormais de l'efficacité de cette approche, dont il n'est pas toujours visible si ses motifs sont d'ordre logique et scientifique, idéologique ou stratégique. Sur le plan scientifique, qui est celui qui nous intéresse ici, la gestion intégrée des zones inondables ouest-africaines répond à la nécessité de gérer leur fragilité et non pas de la faire disparaître.

7 L'intégration combine l'ensemble des ressources identifiées dans telle zone inondable avec l'ensemble des acteurs sur ces ressources et se transcrit en usages. Ainsi définie, il est évident que l'intégration n'est pas aisément applicable à la gestion des ressources d'une aire inondable tropicale puisqu'on ne sait pas gérer actuellement les modulations permanentes qu'elle implique. Cela dit, la participation de tous les acteurs et la prise en compte soigneuse de tous les usages sont considérées comme un facteur de durabilité pour la gestion d'une ressource, et donc comme un but à atteindre. Dans le passé, les gestions à prétentions « intégratrices » n'ont pu, au mieux, intégrer et gérer qu'un petit nombre d'éléments du système ou bien elles en ont réduit la complexité par ignorance ou par économie. Reste à examiner si de nouvelles approches politiques (décentralisations, consensus sur les priorités, etc.) et techniques (*via* des agences de bassins) rendraient une approche intégrée plus praticable. Dans le delta intérieur du Niger, puisque nous nous appuyons ici sur cet exemple, les gestions dites traditionnelles ont évolué sur plusieurs siècles ; elles semblent avoir su pratiquer une intégration d'usages multiples et su entretenir le consensus des acteurs au moyen d'articulations sociales dont on distingue aujourd'hui qu'elles étaient nombreuses. Arbitrages, négociations et entretien des relations s'effectuaient dans le cadre d'une architecture sociale non discutée, qui n'était ni démocratique, ni égalitaire, pourvue d'un nombre limité de niveaux d'organisation et, partant, de voisinages. Il est vraisemblable – mais il faudrait le démontrer : posons-le ici comme hypothèse – que de telles gestions étaient socialement et économiquement coûteuses. Les organisations qui les ont mises en place et pratiquées ont perdu une grande partie de leur fonctionnalité, le coût économique et social de l'entretien des relations n'est vraisemblablement plus supportable dans la société actuelle qui, par ailleurs, n'admet plus aisément les violences politiques du passé. L'ajustement permanent implique des dépenses, du temps, des compétences, des apprentissages. Il implique aussi une information abondante, diversifiée, adaptée, exacte, ainsi que les moyens de la diffuser et de la mettre à disposition en permanence. On n'en connaît guère d'exemples qui soient, dans le même temps, réellement pratiqués et réellement comparables aux situations de l'Afrique de l'Ouest.

8 Posons enfin l'hypothèse que la gestion intégrée des ressources naturelles renouvelables d'une aire inondée ne peut être mise en œuvre que par des décisions et des consensus à caractère politique mobilisant plusieurs niveaux opérants, davantage que par des décisions seulement économiques, techniques et sociales aux seuls niveaux de la zone inondable elle-même. Il s'agira alors d'organiser – c'est-à-dire de faire fonctionner et de contrôler – les relations entre les niveaux d'organisation fonctionnels et entre les

voisinages, de proposer et de faire respecter la part des « marchandisations » par rapport à celle des patrimoines[2], de coordonner entre eux les éléments composant le système inondable et ses voisinages. Jusqu'à une période récente, le principe dirigiste, protectionniste et centralisé avait paru efficace ; sa faillite et ses effets négatifs ont fréquemment été montrés par la suite. L'approche décentralisée de type démocratique sera-t-elle plus efficace ? Comment concilier et faire fonctionner une intégration du « global » de la zone inondable (et même du bassin fluvial dans son ensemble) et du « local » de l'exploitation, de la proposition, de la mise en œuvre ? A quel terme et avec quels outils en mesurer les effets ? L'intégration serait peut-être, en tout premier lieu, de reconnaître l'intérêt de ces systèmes multiples, de tenir compte de tous leurs acteurs et de permettre à ceux-ci d'organiser leurs relations, leurs stratégies et leurs informations.

Trois clés de gestion

9 La gestion intégrée des zones inondables de l'Afrique de l'Ouest, dont il est particulièrement question ici, peut être guidée par les trois clés suivantes : fragilité, échelle locale, information.

10 La notion de fragilité est couramment associée à celle de risque écologique, social, économique et politique dans les aires inondables : facilité des destructions, difficultés à les réparer, en temps, coûts et acquisition de compétences. Les ressources sont fragiles, ainsi que les économies familiales, les entreprises et de façon générale les usages des ressources et des espaces inondables. Cette fragilité reste à analyser dans le détail : la protection des potentiels productifs naturels et sociaux d'un hydrosystème n'est pas un travail de routine dont des modèles existeraient et seraient simplement reproductibles. L'exercice incontrôlé des concurrences auxquelles donnent lieu ces potentialités n'est pas favorable au développement durable des zones inondables en termes de production économique, d'équité et de paix sociale. L'hésitation et le flou dans le choix des valeurs et des droits (schématiquement : « patrimonialisation » *versus* « marchandisation », « usages communautaires » *versus* « propriété individuelle aliénable ») accentuent la fragilité des ressources naturelles renouvelables et des systèmes sociaux qui les exploitent.

11 Mais cette fragilité peut-elle et doit-elle induire un traitement d'exception sous forme d'aides préférentielles, de règles spécifiques, de quotas particuliers ? Les réponses sont-elles plutôt politiques ou plutôt économiques ? Développer une aire inondable, est-ce traiter à part une « île à protéger » ? Le statut de l'eau (propriété, ayants droit, réglementations, etc.) peut-il et doit-il être différent si l'on est en aire inondable ou si l'on n'y est pas ? Les différents acteurs interrogés donneraient-ils les mêmes réponses ? Dans les études qui sont présentées dans ce volume, la séquence fragilité / risques / conflits est visible et perçue par tous les acteurs.

12 Il est devenu banal de citer que les gestions adéquates sont celles qui sont pratiquées aux échelles adéquates, ce qui implique ici de prendre en compte les dimensions multiples (dans le temps et dans l'espace) des zones inondables. Le niveau international ne peut être éludé, c'est celui du marché dans lequel s'effectuent l'acquisition des outils et des équipements, l'écoulement de la production, les plus-values ; c'est aussi celui dans lequel s'effectuent les régulations hydrauliques, dont les enjeux politiques, sociaux et économiques ne peuvent être mis à l'écart. A l'autre extrémité des échelles, le niveau local de la gestion est non moins important : c'est celui du prélèvement et de la production, celui des communautés directement concernées par, et agissant pour, le

renouvellement des ressources, le niveau politique et administratif de base, renouvelé dans certains pays par la décentralisation. Le niveau local est aussi celui où s'expriment le plus les concurrences, les contestations, les conflits. Ces derniers paraissent particulièrement visibles dans le delta intérieur malien (Barrière, 1996). La compétition pour les espaces porteurs de ressources en cours de diminution est invoquée, ainsi que l'incertitude et les risques de pertes (de production, d'usages fonciers ou halieutiques, de droit à la décision).

13 La gestion intégrée est-elle d'abord une gestion locale quand il s'agit d'une aire inondable ? Comment agir pour le développement au sein des organisations fonctionnelles[3] de F hydrosystème, et lesquelles privilégier ? Développer les aires inondables, est-ce seulement développer leurs secteurs ruraux et gérer le binôme production / conservation ? Quel rôle donner aux bourgs et aux réseaux de petites villes, aux voisinages non inondables, à des réseaux spécifiques de bien plus grande dimension[4] ?

14 A la suite de ce qui précède, on voit quelle importance revêt l'information : l'information destinée à, et fournie par, les instances de décision ; les savoirs paysans ; les informations techniques, stratégiques, scientifiques ; leurs lacunes, leurs modes de transmission, leurs ruptures. Les suivis et les mises à jour, sans oublier l'image de Faire inondable vue de l'extérieur et l'image que Faire inondable – ses habitants – veut et va donner d'elle – même... Ceci conduit à prêter une grande attention à « l'histoire » des acteurs. Attention, la « tradition » rapidement parcourue et son insertion dans quelques événements généraux ne constituent pas une référence scientifique et culturelle suffisante[5], notamment pour l'analyse des niveaux d'organisation fonctionnels et de la logique sociale des décisions. La recherche scientifique a encore beaucoup à apporter dans la connaissance du fonctionnement des zones inondables : mieux connaître les processus sociaux et naturels, analyser (et prévoir) les causes et conséquences des changements, proposer des méthodes, diffuser et comparer les connaissances. Mais elle n'est pas la seule à produire de l'information et l'information doit être relayée, ce qui pose, on le sait, de multiples problèmes encore non résolus relatifs à la qualité de l'information et ses modes de diffusion, à l'organisation et au partage d'une information commune à de multiples utilisateurs, au choix entre une information standardisée et une information opportune de proximité. Le rôle de l'information et les formes multiples que prennent ses modes d'acquisition et de diffusion sont développés dans les parties 4 et 5 du présent volume. Enfin, il est remarquable que dans les sept articles de cette première partie, les auteurs considèrent implicitement que la fragilité naturelle des zones inondables tropicales n'est plus à démontrer. Par contre, ce sont certaines formes de fragilité sociale, engendrées par l'apparente contradiction des échelles de gestion et par les concurrences locales, qui sont illustrées ici.

L'échelle locale : acteurs et relations

15 La présentation que Dieudonné Zallé et Ousmane Maiga font des concurrences pour l'espace des zones inondables dans la ville de Bamako rappelle que les zones inondables sont aussi concernées par l'urbanisation. Celle-ci prend alors des aspects particulièrement conflictuels puisque les enjeux sociaux et économiques sont élevés et que la construction interdit définitivement d'autres usages que l'habitat – outre qu'elle est rendue coûteuse et risquée par le fait même de l'inondation. Or l'agriculture et la

pêche sont lucratifs en ville puisque les marchés de consommation sont tout proches en même temps que les parcelles sont négociables à des prix élevés, quelle qu'en soit la destination. L'absence de règles foncières précises et adaptées à ces espaces hybrides que sont les aires inondables urbaines engendre alors des convoitises, des spéculations et des abus. Il est intéressant de voir confirmer ici le rôle très important que donne la population aux autorités locales (en l'occurrence la municipalité) dans la gestion des conflits et des risques. Les auteurs voient alors la gestion intégrée comme celle de niveaux d'organisation multiples autour de la gestion locale, pivot de l'ensemble.

16 Au niveau local également, mais rural cette fois et dans deux communes de création récente situées au Nord sur l'extrême frange agricole du Mali, Cissouma Diama Togola propose une lecture historique de l'organisation sociale de la production agropastorale dans un espace qui reçoit l'inondation saisonnière et qui est en même temps situé en bordure lacustre. Le passé explique les conflits du présent, et il les revivifie parfois. Ici, l'intégration est bien celle des sociétés, elle est alors aussi celle des « histoires », dont on pressent bien qu'elles seront différemment racontées et invoquées par les différents acteurs.

17 La variété géographique est grande dans les régions inondables : la diversité des conditions naturelles et les différentes façons dont les communautés humaines s'adaptent aux événements sociaux et historiques y engendrent de multiples « pays » dont l'identification détaillée est loin d'être faite, si rapides y sont les évolutions des sociétés et des systèmes de production. La comparaison des travaux présentés dans ce chapitre sur le delta intérieur à échelle locale (sur le milieu environnant le lac Télé, sur le terroir de Batamani, sur la commune de Madiama) suggère que les différences entre ces « pays » ont tendance à s'accentuer plus qu'à se réduire. En étudiant deux villages agricoles du delta, Ousmane Maiga et Marcel Kuper mettent l'accent, eux aussi, sur l'histoire, le temps long dans lequel se déterminent à l'échelle de chaque communauté villageoise le partage compliqué des pouvoirs, des propriétés et des usages. La complexité des rapports sociaux et fonciers, qui se sont construits entre les différents groupes exploitants du même secteur hydrographique favorable à la culture du riz, éclaire les conflits et permet de mieux comprendre les difficultés à les résoudre. A cette complexité sociale répondent des stratégies de production étudiées ici au niveau des unités familiales. Ce faisant, les auteurs insistent sur le rôle de subtils facteurs socioculturels que de « bonnes » gouvernances ne sauraient ignorer : raison de plus, peut-on en conclure, pour confier la gestion de leurs ressources à ceux qui détiennent les savoirs appropriés, c'est-à-dire aux acteurs locaux eux-mêmes.

18 Mais quelle marge de manœuvre les acteurs locaux possèdent-ils dans une commune rurale réputée « à problèmes », entre autres parce qu'elle est située, précisément, sur la limite entre le delta inondable et sa bordure sèche ? L'étude de William Moseley, Julia Earl et Lassine Diarra sur les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la commune de Madiama pose le problème de l'inégalité des capacités de décision, confirmée par le fonctionnement démocratique de la nouvelle communauté territoriale. Le poids des agriculteurs défavorise actuellement les éleveurs, et les sources de conflit ne sont pas évitées. L'exemple de Madiama montre les difficultés de gestion territoriale rencontrées par les décideurs locaux et les producteurs quand les systèmes de production et de décision ne s'exercent pas aux mêmes échelles. Les plans de gestion communale devront donc en tenir compte en devenant des plans inter-communaux, en garantissant une équité intersectorielle, peut-être en recherchant des modes de gestion oubliés par les

systèmes modernes. En outre, la fixation des usages sur un modèle agricole dominant (qui délimiterait durablement des espaces et définirait durablement leur destination) ne paraît pas une solution viable puisqu'elle empêcherait réglementairement la flexibilité indispensable dans des conditions naturelles changeantes. Ici aussi, les auteurs abordent la complexe histoire du peuplement local et l'intérêt, précisément, de méthodes d'acquisition de connaissances qui veulent donner la parole aux non-dominants, à ceux qui, par tradition, ne disent pas l'Histoire. Les habitants de la commune de Madiama ne paraissent pas connaître les textes réglementaires ni la liberté de gestion que ceux-ci pourraient donner aux acteurs minoritaires. Peut-être aussi ne font-ils pas davantage confiance aux nouvelles procédures qu'ils ne l'ont fait aux précédentes, mais il n'est pas exclu que soient inventés des ordres nouveaux (Fay, 1995).

19 Alors que Moseley *et al.* semblent méfiants à l'égard de l'efficacité des structures nationales et régionales de la décentralisation et de leurs procédures de gestion, Bréhima Kassibo expose l'intérêt de la réforme politique et sociale amorcée au Mali en 1991 et l'efficacité qui en est attendue pour la gestion durable du bassin du fleuve Niger. Il s'attache tout particulièrement à citer les niveaux de grandes dimensions (le niveau international du bassin dans son ensemble, le niveau national malien) en faisant allusion aux effets néfastes de politiques contradictoires, trop orientées vers la satisfaction des besoins énergétiques et céréaliers urbains au moyen de la construction de grands barrages. S'il insiste sur ces derniers, c'est que, matérialisations d'un mythe moderne, ils représentent l'opposé de la zone inondable. Leurs conséquences économiques sont encore mal mesurées et leurs enjeux politiques sont difficiles à évaluer : on verra dans la troisième partie de ce volume comment est abordée la dépendance qu'engendrent les grands aménagements hydrauliques.

20 L'histoire peu brillante des structures régionales de gestion sectorielle illustre le contraire de l'intégration. A ces niveaux, les zones inondables sont en situation défavorable pour deux raisons : les usages locaux qui en sont faits ne sont pas comparés avec les enjeux urbains (lesquels sont locaux, eux aussi, dans un sens) ; la ressource en eau dont elles sont pourvues est considérée comme partageable avec les voisinages secs moins bien pourvus. Ainsi, l'intégration doit aussi être celle des échelles, du général au local, entre lesquelles s'exerceraient concertation, échanges, coordination des objectifs et des actions. Au Mali, des structures et des réglementations existent ou sont en cours d'élaboration afin de réaliser cette intégration, de contrôler les dérives et de gérer les risques nouveaux.

21 Dans la continuité de ce qui est abordé par plusieurs auteurs de ce chapitre à propos de l'information, Marie-Laure de Noray décrit une catégorie d'opérateurs, les agents intermédiaires de la recherche, qui relie dans les deux sens la recherche scientifique aux multiples acteurs du développement. Leur rôle spontané, et revendiqué par eux, de médiateurs permet de transcrire et de transmettre les savoirs et contribue à mettre en ordre les questions et les réponses émises par les uns et par les autres, à tous les niveaux. Mieux encore, il assure l'indispensable continuité entre acquisition et restitution d'information, aussi bien dans le présent du « projet » que dans le temps des projets antérieurs reliés ainsi au futur de la gestion locale dans le monde rural. Ces fonctions essentielles de rapprochement des savoirs, entre la recherche, le développement et l'exploitation des ressources, sont encore insuffisamment assurées par un métier encore peu reconnu : l'objectif d'une intégration des savoirs et des actions est aussi d'assurer les moyens et la stabilité nécessaires.

22 Enfin, dans la vallée du Sénégal, des aménagements hydrauliques coûteux ont permis une riziculture aménagée, organisée et planifiée sur de vastes superficies. La question reste en suspens, cependant, de la gestion des espaces inondés en bordure des aménagements, qui portent des ressources spontanées (forêts, pâtures, rizières non aménagées). Patrick d'Aquino, Seydou Camara et Babacar Diop proposent un ensemble cohérent de réponses après avoir fait un diagnostic critique des paradigmes antérieurs. Ils présentent comme exemple la formation des décideurs locaux d'une vaste commune rurale pour la gestion des ressources et des espaces. Le danger qu'encourent les zones dites « non-classées » du delta du Sénégal est que des solutions simplistes soient apportées de l'extérieur à leurs décideurs communaux. C'est à ces décideurs-producteurs qu'un investissement important est proposé sous la forme d'un apprentissage, dont les premiers résultats sont exposés ici. L'approche privilégie à juste titre les objectifs liés à la durabilité des systèmes de production, objectifs qui sont atteints et garantis par des actions situées largement à l'amont de la production, comme la mise à disposition de l'information. La formation des acteurs – de tous les acteurs – en fait aussi partie intégrante.

Conclusion

23 Deux problèmes associés préoccupent l'ensemble des acteurs des zones inondables, depuis les acteurs de la production rurale jusqu'aux analystes du développement : celui des concurrences et des conflits sur les espaces productifs, celui de l'harmonisation des stratégies et décisions sur plusieurs échelles d'espace et de temps. La gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales se doit de répondre à ces deux termes. Or il semble bien qu'une partie de la solution réside dans la résolution du paradoxe entre *gestion intégrée* et *gestion locale,* c'est-à-dire dans l'implication de la gestion locale au sein de la démarche de gestion intégrée. Ceci soulève évidemment le problème de l'intégration des niveaux de décision : une gestion intégrée sera-t-elle viable si le niveau local, non seulement ne participe pas à cette gestion, mais encore ne décide pas les termes de cette gestion ? La décision locale, plus lente mais sans doute plus stable, peut-elle s'articuler avec les décisions régionales (la dimension du bassin fluvial, par exemple) et globales (au sens de planétaire) ? Où et comment articuler la structuration *bottom-up* de la première et les fonctionnements *top-down* des secondes ? Si les fonctionnements souhaitables sont bien décrits en théorie (le *bottom-up* au niveau d'une agence de bassin, par exemple), ne restent-ils pas encore dans le domaine de l'idéal (Lewis, 2001) ?

24 A l'heure actuelle, les acteurs qui interviennent dans la gestion des ressources naturelles renouvelables (inondables ou non) ne savent pas bien concevoir, construire ou appliquer la conjugaison du local et de l'intégré. Plus exactement, ces conceptions, constructions, applications sont perpétuellement « imaginées » dans un futur accessible où tel environnement social, politique et économique (existence d'une agence de bassin, fonctionnement d'une décentralisation, disponibilité des connaissances...) est considéré comme le préalable indispensable en même temps que pas encore – mais toujours sur le point d'être – réalisé : pour cela, gestion intégrée et développement durable des systèmes fondés sur l'inondation restent encore actuellement dans le domaine des idées.

25 Un autre aspect important de la problématique est celui de la durée des gestions, en d'autres termes de la durabilité du développement qu'elles induisent. Dans le contexte essentiellement changeant, et à plusieurs échelles d'espace et de temps, des zones inondables, les objectifs de gestion et les moyens de parvenir à ces objectifs (par les

réglementations, par exemple, mais aussi par les techniques) ne doivent-ils pas être ajustables aux changements, flexibles, modifiables, fréquemment révisables ?

26 On voit quel rôle capital peuvent jouer les sciences sociales dans les procédures de mise en exercice et de suivi des gestions intégrées sur les zones inondables tropicales en s'associant avec les sciences biologiques, physiques et techniques : d'une part, un rôle de moteur en affichant la relation entre les systèmes sociaux et l'acte de production comme enjeu principal des travaux sur et pour le développement ; d'autre part, un rôle d'accompagnateur permanent des actions et des projets en suivant les séquences qui vont des intentions aux conséquences en traversant les multiples niveaux d'organisation.

Remerciements

27 L'auteur remercie Nathalie Lewis, sociologue, Programme national de recherche sur les zones humides – Vallée de la Loire – France et Bréhima Kassibo, socio-anthropologue, Institut de sciences humaines, Bamako, pour la relecture de ce texte et les commentaires, nuances et compléments qu'ils ont utilement suggérés.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Barrière O., 1996 – *Gestion des ressources naturelles renouvelables et conservation des écosystèmes au Sahel : le Foncier – Environnement.* Thèse doct., Anthropologie juridique, univ. Paris-I, 686 p.

Fay C, 1994 – « Organisation sociale et culturelle de la production de pêche : morphologie et grandes mutations ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 191-207.

Fay O, 1995 – La démocratie au Mali ou le pouvoir en pâture. *Cahiers d'études africaines,* 137 (XXXV-1) : 19-53.

Lewis N., 2001 – *La gestion intégrée de l'eau en France : critique sociologique à partir d'une étude de terrain (bassin Loire-Bretagne).* Thèse doct., Sociologie, univ. Orléans, 498 p.

Poncet Y., 1999 – « Une lecture temporelle de la pêche au Mali ». *In* Poncet Y. (éd.) : *Les temps du Sahel,* Paris, IRD : 81-108.

Poncet Y., 2000 – « Le système halieutique du delta central (Mali) : structurations de l'espace et cohérence des articulations fonctionnelles ». *In* Gascuel D., Chavance P., Bez N., Biseau N. (éd.) : *Les espaces de l'halieutique,* Paris, IRD : 549-566.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées, l'exemple du delta du Niger. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

NOTES

1. Les travaux dans le delta central du Niger (Mali) montrent que les systèmes successivement mis en place ne se remplacent pas les uns les autres mais se superposent les uns aux autres : leur validité et leur légitimité sont alors invoquées de façon opportune en fonction des situations, des enjeux et des interlocuteurs (Fay, 1994).
2. Patrimoine au sens de ce que l'on reçoit (pour l'exploiter) et que l'on transmet (intact).
3. On lit couramment dans les documents d'obédience « Banque mondiale » qu'il faut agir, en matière de développement, aux échelles des processus. Il est bon que cette idée soit désormais largement exprimée... Mais impliquer que chaque échelle a sa gestion (et chaque gestion son échelle ?) serait une simplification abusive.
4. Les réseaux de diffusion des techniques de pêche dans toute l'Afrique entre le Sahara et l'équateur, par exemple.
5. On ne peut qu'être frappé par l'abondance des méthodes d'analyse rapide des sociétés locales, qui ont l'avantage de donner la parole au plus grand nombre, mais l'inconvénient de ne pas s'attarder sur le fond.

AUTEUR

YVELINE PONCET

Géographe. IRD, centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 02, France,

Zones inondables en milieu urbain

Conflits fonciers et concurrences pour l'espace maraîcher à Bamako (Mali)

Dieudonné Zallé et Ousmane Maïga

1 Le maraîchage est une pratique très répandue à Bamako. Son développement s'explique, d'une part, par la demande en fruits et légumes consécutive à la croissance de la population urbaine et à l'évolution des niveaux de vie et des habitudes alimentaires, d'autre part, par la crise de l'emploi et la paupérisation des citadins qui contribuent à accroître les superficies cultivées en ville et à augmenter le nombre d'employés maraîchers.

2 A Bamako, le maraîchage constitue un espace dynamique d'emplois et de revenus dans la ville. Toutefois, en dépit du rôle déterminant qu'elle joue localement, l'agriculture maraîchère est aujourd'hui remise en question à cause de la poussée urbaine. L'extension des superficies construites, à vocation résidentielle, commerciale, administrative et industrielle, constitue une menace pour la survie du secteur, voire pour son développement à terme. La concurrence est défavorable au maraîchage, ce qui a pour conséquence la réduction sensible ou la marginalisation des terres disponibles. En effet, l'agriculture maraîchère est reléguée dans les espaces inondables : plus de la moitié des parcelles se retrouvent au bord du fleuve et de ses affluents, car ce sont des zones difficilement constructibles. A cause de cette marginalisation, l'agriculture maraîchère est soumise à une insécurité foncière du fait de l'absence de bases juridiques et légales mais également du fait de l'occupation souvent illicite des terres, ce qui est aussi un moyen d'échapper aux règles et taxes foncières. Cette insécurité, qui s'aggrave dans les zones inondables, est à l'origine de tensions sociales et de conflits.

3 Cet article pose le problème des zones inondables de la ville de Bamako à travers certains aspects du foncier urbain par l'analyse des modes d'acquisition et d'appropriation des terres, des pratiques de faire valoir et des contraintes liées à la gestion des périmètres riverains. Notre étude concerne plus particulièrement les maraîchers de la Commune V[1] du district de Bamako, qui sont en compétition avec d'autres exploitants des berges du fleuve dans un contexte de décentralisation encore immature.

L’accès à la terre et la gestion des espaces maraîchers

4 Secteur non structuré dans le district de Bamako, le maraîchage n’a jamais bénéficié de bases juridiques ni de législations particulières autres que les textes qui régissent le régime des terres au Mali. L’occupation des parcelles et la formation des espaces maraîchers sont effectuées au gré de circonstances diverses et sur des domaines fonciers variés. Ceci expose les espaces maraîchers aux vicissitudes de l’urbanisation, laquelle privilégie les espaces à vocation résidentielle, administrative, industrielle ou commerciale. La compétition entre l’agriculture et l’urbanisation tourne toujours en faveur de l’urbanisation par absence de législation spécifique et du peu d’intérêt accordé à l’agriculture dans les politiques de développement du secteur urbain.

5 Le territoire de Bamako était autrefois régi par le système ancestral qui, malgré les changements survenus depuis la colonisation, reste vivace : « Les régimes fonciers traditionnels se caractérisent par l’absence d’appropriation privée de la terre qui appartient à toute la collectivité, et dont le représentant est le chef de la terre qui, au nom des génies tutélaires du groupe, en concède la jouissance aux individus. L’exploitant n’exerce qu’un droit d’usage sur la terre dont il est l’usufruitier intégral, mais non le propriétaire au sens juridique du terme. » (Viguier, 1961). Les *dugukolo-tigui* (propriétaires terriens, en bamanan) – la famille Niaré – n’avaient pas l’exclusivité sur les terres. L’accès faisait l’objet de règles de distribution régies par les traditions selon les statuts sociaux et les charges des ménages. On distingue alors plusieurs catégories de champs : le champ du ménage ou *guwa forow* ; le champ de segment lignager ou *bonda forow* ; et le champ de la grande famille patriarcale ou *kabila forow.* Le droit sur ces terres a été transmissible de père en fils dans la même famille jusqu’à la colonisation.

6 La période coloniale a été la phase de bouleversement des relations traditionnelles à la terre dont la légitimité avait été reconnue et protégée par les coutumes sous forme d’inaliénabilité des droits des premiers occupants-fondateurs. Les chefs locaux se trouvèrent dessaisis de leurs droits. L’État colonial en devint le propriétaire ainsi que de tous les terrains qui étaient « vacants et sans maîtres », ce concept impliquant que tout terrain inoccupé appartient à l’État sans que celui-ci ait besoin de l’immatriculer à son nom. Toutes les législations foncières confirmèrent, au plan politique, les droits du pouvoir colonial sur les terres et l’administration sans partage de la colonie. Les raisons invoquées en étaient la nécessaire maîtrise du foncier par l’État colonial, considéré comme le seul concepteur et animateur du développement. Elles s’appuyaient sur deux principes : éviter le gâchis foncier et manifester le devoir de civilisation agraire de la métropole.

7 Les susceptibilités des autochtones amenèrent le gouvernement colonial à conserver les modes locaux de gestion des terres jusqu’à la loi de 1959 sur l’expropriation des terrains coutumiers. En 1960, date de l’accession du Mali à la souveraineté nationale, les dispositions foncières sont devenues plus nettes : on distingue les domaines de l’État, ceux de propriété privée (instaurée par les législations modernes du pouvoir colonial) et ceux relevant de l’exercice du droit coutumier. La complexité de la gestion de ces trois catégories a amené l’État à modifier les dispositions foncières en 1970 puis en 1983. Il recourt alors au principe de la « domanialité étendue », qui excluait toute activité agricole même sur les terres inondables jugées inconstructibles : selon cette règle, les terrains coutumiers sont laissés en jouissance libre à leurs usagers traditionnels, et les

terres non mises en valeur ne peuvent être attribuées qu'après immatriculation au nom de l'État ; les terres immatriculées au nom de l'État, les terres coutumières et les terres « vacantes et sans maître » (parmi lesquelles sont classées les aires inondables) font partie du domaine privé de l'État. En fait, les terrains coutumiers sont simplement laissés en jouissance libre à leurs usagers traditionnels. En revanche, les terres non mises en valeur ne peuvent être attribuées qu'après immatriculation au nom de l'État, et seulement sous forme de concession provisoire moyennant une redevance annuelle. Après sa mise en valeur, la concession à titre provisoire peut être transformée en titre de longue durée, soit définitif (titre foncier), soit provisoire (bail).

Tableau 1. Répartition des parcelles selon la situation et le statut d'occupation.

Localisations	Statuts d'occupation (en %)			Nombre de parcelles
	Propriété	Prêt	Location	
bord du fleuve	45,7	37,0	18,9	127
bord de route	12,9	14,1	72,9	85
bord d'affluent	17,9	70,2	11,9	84
quartier bâti	19,3	28,8	52,9	104
Total	*25,2*	*37,0*	*37,7*	*400*

Source : Enquête D. Zallé, 1997.

Le statut des parcelles maraîchères et leur localisation

8 La domanialité étendue n'a pas modifié véritablement les relations à la terre des agriculteurs en général, ni celles des maraîchers qui exploitent les plaines alluviales du fleuve Niger et de ses affluents. L'implantation maraîchère est concernée par les deux domaines fonciers : 39 % des terres coutumières et 53,5 % du domaine privé de l'État. Il s'agit pour l'essentiel des espaces inondables (donc non encore immatriculés) grignotés par des lotissements récents et de statut souvent douteux, situés dans la servitude du fleuve. Cette pratique d'accaparement est le fait d'un lobby bourgeois en quête du microclimat doux des abords immédiats du fleuve. Cependant, 45,7 % des 400 maraîchers étudiés déclarent être propriétaires de leurs parcelles, les autres avouant le prêt non assorti de redevances (tableau 1).

Les dynamiques foncières dans les zones inondables

Les conflits et leurs régulations

9 Les confrontations qui opposent les particuliers avec les institutions administratives, politiques ou privées sont le reflet de la crise foncière à Bamako. Elles sont alimentées par les tensions sociales, familiales et économiques liées à l'évolution même de la ville. Les tensions foncières se manifestent sous des formes multiples et complexes (tableau 2).

10 Les contestations les plus rencontrées concernent les particuliers. Elles portent surtout sur des terrains destinés à l'habitation et à l'agriculture. Les particuliers ont également des démêlés avec les autorités communales. Les droits discutés font principalement appel

au besoin pressant de réhabilitation des espaces illicitement occupés comme habitations dans les lits des cours d'eau. Cette situation est très réprimée car elle est cause de péril en cas d'inondation. La gestion communale n'est pas épargnée par ces contestations. Il s'agit principalement de problèmes entre le maire et ses administrés mais aussi de tensions internes au conseil communal à propos de la réalisation des projets de réhabilitation des zones inondables. Dans ce cas, les droits discutés s'articulent autour des droits de compensation et de l'acquittement des charges. A Bamako, lorsque l'État reprend un domaine coutumier, le propriétaire reçoit une parcelle à usage d'habitation contre un hectare de champ ; après l'achat du titre foncier à l'État, l'acquéreur (une agence) ou la mairie verse à l'ancien exploitant (l'agriculteur) une indemnité en espèces représentant la valeur au champ de ses investissements agricoles à titre de dédommagement.

Tableau 2. Les types de conflits.

Protagonistes	Types de litiges
entre particuliers	- espaces agricoles revendiqués par plusieurs usagers - reprise de terrains de culture prêtés ou loués (champs, vergers, jardins…) - droits contestés sur une cour d'habitation - droits contestés sur des portions de concessions - contestations sur des zones de parcs à bétail - problèmes de voisinage et de mitoyenneté - problèmes d'héritage
entre particuliers et municipalité	- constructions illicites (sur les réserves foncières, par ex.) - revendication de droits au relogement - revendication de droits au dédommagement - reprise d'espaces non mis en valeur - revendication de droits d'usage
entre particuliers et agences immobilières	- droits au dédommagement et purges foncières (déshypothèques, acquittement des charges) - contestations d'usage sur les réserves foncières - refus de déguerpissement
internes à la municipalité	- problèmes entre le maire et ses administrés - tensions internes dans le conseil communal - contestations sur l'exploitation ou l'utilisation des réserves foncières

Source : Enquête D. Zallé, 1997.

11 Plusieurs moyens sont utilisés pour résoudre les tensions foncières, entre autres le recours aux conseils de familles, souvent élargis aux amis de la famille, aux notables, aux chefs religieux, aux ressortissants d'une même région ou de villages voisins, le recours au conseil communal, à la police et au tribunal, et même au fétichisme et aux forces occultes. Les particuliers qui résident en habitat spontané (communément appelé *sonsorobougou,* c'est-à-dire une occupation provisoire ou précaire), font directement appel aux autorités communales pour résoudre leurs différends, même si nombre des arbitrages ont lieu sur fond de suspicion. Selon Bertrand (1994), « les mairies s'affirment de plus en plus au Mali comme un lieu privilégié de confrontation privée en matière foncière », ce qui a des conséquences bizarres lorsque certains protagonistes font appel aux fétiches ou aux forces occultes.

12 Nous allons illustrer la concurrence entre urbanisation et agriculture dans la zone inondable de Bamako par un exemple qui montre les problèmes qui opposent les maraîchers aux agences immobilières. Il s'agit des contestations exprimées par les producteurs maraîchers de Badalabougou, non loin du Pont des Martyrs, sur la rive droite. La zone est communément appelée « *naré ka danga* » du nom de l'un des premiers ouvriers à l'occuper illicitement. Elle est située entre l'aire bâtie en 1966 par la société immobilière d'État Sema (Société d'équipement du Mali) et le fleuve. Cet espace, très accidenté à l'époque et très proche du cours d'eau, avait été exclu du titre foncier de la société immobilière. Il a donc été épargné pour le plus grand bonheur des maraîchers qui, en plus de la culture des légumes, y avaient en toute quiétude construit leurs habitations. A la faveur de la démocratisation du pays, la Sema, devenue société anonyme, décida en 1993 d'agrandir son patrimoine foncier en l'étendant jusque dans la servitude du fleuve. Ce titre, dans ses nouvelles dimensions, déborde évidemment sur l'espace maraîcher. Prévoyant la résistance probable des agriculteurs, la société brûla les étapes. Des ventes furent ouvertes dans un marché évidemment très lucratif. Toutes les parcelles proposées furent achetées avant même le lotissement de l'espace concerné. Lorsque les techniciens voulurent borner ce domaine résiduel, les oppositions commencèrent à se manifester. Depuis, la tension est vive, nourrie de l'humiliation et du manque de respect ressentis par les occupants. Des propos violents et injurieux ont été lancés. Or la Sema a fait déloger les maraîchers à coup de bulldozer avec intervention de la police et de l'armée. Les maraîchers, munis de coupe-coupes et de machettes (les hommes) et de pilons (leurs épouses) ont dû abdiquer face aux forces de maintien d'ordre. Toutes les cases furent rasées avant sept heures du matin. Une délégation des victimes fut dépêchée en hâte à la mairie. Le maire a dû leur trouver un refuge dans une école du quartier. Le problème fut confié à la commission domaniale de la Commune V dont les multiples démarches auprès du gouverneur du district de Bamako et de la direction générale de la Sema ont échoué. Pour toute consolation, le maire a promis une prise en compte dans les réhabilitations des quartiers spontanés.

Concurrences pour l'espace disponible

13 Plus généralement, la concurrence pour l'usage des superficies disponibles oppose fréquemment les maraîchers aux pêcheurs, et ces deux catégories professionnelles aux exploitants de matériaux de construction, aux teinturières, aux tanneurs et aux lavandières.

14 En plus de l'approvisionnement venant d'autres régions du pays (Mopti, Ségou, Markala, Macina et Sélingué), une partie de la fourniture de poissons frais à Bamako est assurée par une importante production locale, manifestée dans le paysage par les nombreux campements de pêcheurs, généralement des Bozo et des Somono. Ces pêcheurs ont besoin d'espace en bordure du fleuve, non seulement pour établir leurs habitats, mais aussi pour étaler leurs engins de pêche (filets, pirogues) et leur production à fumer ou à sécher. Les campements sont presque toujours accompagnés de chantiers de construction de pirogues et d'ateliers de confection de filets. Les pêcheurs ont donc tendance à déborder de quelques mètres carrés, chaque année, sur les espaces maraîchers, notamment quand ceux-ci sont temporairement inoccupés, en saison des pluies.

15 Par ailleurs, les espaces des campements de pêcheurs ne sont pas épargnés par l'urbanisation, puisqu'ils occupent des emplacements très convoités. C'est ce qu'attestent

leurs nombreux déplacements. Trois cas sérieux concernant 46 personnes du milieu pêcheur sont actuellement en litige à la mairie de la Commune V et au haut – commissariat du District de Bamako. Il s'agit de titres fonciers récents obtenus par des particuliers pour construire des hôtels en vue de la Coupe d'Afrique des Nations, organisée et accueillie par le Mali en 2002. L'originalité de ces cas réside dans le fait que les pêcheurs bozos refusent de quitter les lieux, même quand ils ont empoché, par naïveté ou par esprit crapuleux, d'importantes sommes d'argent en guise de pots de vin, par corruption ou par solidarité. Les conflits issus de cette situation pourraient conduire au départ des pêcheurs car les maraîchers, bien que non – propriétaires, semblent l'emporter du fait de l'appui des grandes familles de notables.

16 L'envahissement des espaces maraîchers est aussi pratiqué par les exploitants de sables et de graviers. En quête d'aires de débarquement du contenu de leurs pirogues, les ressortissants de ce secteur très dynamique stockent d'abord leurs produits sur les berges en attendant leurs destinations définitives, les chantiers de construction urbaine. Avec le temps, ces aires de stockage finissent par se transformer en de véritables entreprises de confection de briques en ciment, et leurs besoins en espace s'accroissent. Cette recherche d'espaces qui soient à la fois proches du fleuve, par où arrivent les matériaux, et de la ville, où ils sont utilisés, n'est pas à l'abri de l'urbanisation, qui impose leur fermeture sans recours.

17 Les teinturières, les tanneurs et les lavandières occupent également les berges du fleuve. De plus, ils polluent le fleuve et ses rives par les produits chimiques qu'ils utilisent, ce qui atteint la fertilité du sol et altère la qualité des produits maraîchers. L'étalage du linge humide mis à sécher sur les plantes cultivées écrase les plantes en masquant la lumière. Par leurs diverses couleurs, surtout les couleurs froides, les linges absorbent beaucoup de chaleur, ce qui nuit à la bonne croissance des espèces maraîchères. Ces usagers des rives ont de nombreux démêlés, non seulement avec les maraîchers et les propriétaires de titres fonciers, mais également avec les services de contrôle des pollutions et des nuisances.

Conclusion

18 Les zones inondables urbaines sont des espaces particulièrement convoités parce qu'ils sont – au moins en apparence – disponibles pour de nombreux usages. Ces usages sont soient temporaires (ils disparaissent quand l'eau monte), soient transférables d'un site à un autre au fur et à mesure de la progression de l'inondation. Cette disponibilité permet de résoudre, au moins pour un temps, les problèmes issus du manque d'espace dans la ville même. Mais ces usages fluctuants posent des problèmes liés à leurs statuts fonciers peu clairs, entraînant évidemment des abus et des tentatives de mainmise à la limite d'une légalité mal définie. On retrouve ici, bien entendu, les cas classiques de constructions sur des sites à l'évidence non constructibles, voire sur des sites remblayés, ce qui leur donne une apparence de constructible. Le problème n'est pas tant, ici, celui de conflits entre une population d'exploitants et l'autorité, que celui de conflits entre différents usages incompatibles (agriculture, habitat « en dur »).

19 Dans le contexte de tensions sociales et économiques potentielles que connaissent toutes les grandes villes, la décentralisation mise en place au Mali propose-t-elle des solutions ? Oui dans une certaine mesure par la démocratisation des prises de décision, par une

meilleure information, par un assainissement des aberrations foncières. Mais cela n'est pas suffisant à Bamako, qui est gérée en communes déjà depuis longtemps.

20 En effet, les méthodes peu orthodoxes que nous avons citées ici traduisent un phénomène inquiétant au moment où de gros efforts sont entrepris pour améliorer la gestion foncière. Elles expriment le manque réel de maîtrise de cette gestion par les pouvoirs publics. Les conflits montrent l'anarchie qui prévaut aujourd'hui. Notre enquête a révélé l'absence de concertation et le manque de rigueur dans l'application des textes réglementant l'accès à la terre. La désobéissance civile, qui traduit un manque de respect à l'égard de l'autorité et caractérise les difficiles cohabitations dans les zones inondables, est encouragée par les hésitations des autorités à réguler, voire à prévenir les tensions par un dialogue franc et permanent assorti de la responsabilisation des acteurs participant au développement urbain et péri-urbain.

21 Conflits et malaises peuvent, à la longue, engendrer une insécurité et entraver les activités de développement. Or, le nouveau cadre de la décentralisation se réfère à la participation des populations et à l'émergence d'une nouvelle citoyenneté qui intègre les reconnaissances et les initiatives aussi bien économiques, sociales que culturelles. Ce n'est donc pas une réforme comme les autres ; elle est fondamentalement un mécanisme d'intégration sociale, économique et culturelle, rectificateur des déséquilibres. On le voit déjà dans le rôle que les communes de Bamako sont appelées à jouer dans la résolution des conflits fonciers.

22 L'exemple de Bamako montre que la gestion intégrée des zones inondables devrait être conçue comme le partage du pouvoir et la responsabilisation de tous les intervenants. Les élus locaux doivent s'exprimer en inventant des solutions spécifiques, et personne ne devrait décider en lieu et place des citoyens des communes, désormais maîtres de leur développement. Mais c'est aux autorités communales d'initier avec les autres acteurs du développement (l'État aussi bien que les entreprises) un partenariat fécond qui respecte chaque entité socio-économique, et qui articule leurs activités par rapport à un programme de développement communal.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bertrand M., 1990 – *Questions foncières et villes secondaires au Mali : les communes méridionales de Sikasso, Koutiala et Bougouni.* Thèse doct., univ. Paris-Nanterre, 668 p.

Code domanial et foncier, 1987 – Loi n° 86-91/N-RM, portant code domanial et foncier. Bamako, 103 p.

DoumbiaS., 1982 – *L'espace périurbain en jeu : extension des cultures maraîchères et fruitières à Bamako au Mali.* Thèse de 3e cycle, EHESS, Paris.

Gaumie J., 1991 – « La régulation des rapports fonciers internes à l'exploitation ». *In* Le Bris E., Le Roy E., Paul M. (éd.) : *L'appropriation de la terre en Afrique noire, manuel d'analyse, de décision et de gestion foncières,* Paris, Karthala : 53-57.

Mission de décentralisation et des réformes institutionnelles, 1998 – *La décentralisation et les réformes institutionnelles au Mali : le cadre d'une nouvelle dynamique de démocratisation et de développement.* Bamako, présidence de la république du Mali, 28 p.

Ouédraogo D., Piché V., 1995 – *L'insertion urbaine à Bamako.* Paris, Karthala, 206 p.

Rochegude A., Verdier R., 1986 – *Systèmes fonciers à la villeet au village.* Paris, L'Harmattan, 201 p.

Touré A. M., 1988 – *Évolution de l'espace maraîcher à Bamako.* Mémoire de fin d'études, Histoire et Géographie, École normale supérieure, Bamako.

Viguier P., 1961 – *L'Afrique de l'Ouest, vue par un agronome : problèmes de base.* Paris, Maison Rustique.

Yves M. J., 1997 – Le régime foncier du nouveau code domanial et foncier du Mali, études et documents. *Revue des Sciences juridiques, administratives et économiques,* 6.

Zallé D., 1992 – *Évaluation de l'activité maraîchère à Bamako : le cas de la Commune V.* Mémoire de DEA, Isfra, univ. du Mali, Bamako, 103 p.

Zallé D., 1997 – *Le maraîchage intra-urbain à Bamako.* Thèse doct., Isfra, univ. du Mali, Bamako, 318 p.

Zallé D., 1998 – *Les stratégies politiques pour l'agriculture urbaine, rôle et responsabilité des autorités communales : le cas du Mali.* lagu, Dakar, 17 p.

NOTES

1. Le district de Bamako est divisé en six communes urbaines désignées par un numéro en chiffres romains : lire ici « commune cinq ». La Commune V s'étend sur 41 km² et couvre avec la Commune VI la rive droite du fleuve Niger.

AUTEURS

DIEUDONNÉ ZALLÉ

Géographe. Commune V, Bamako, Mali,

OUSMANE MAÏGA

Géographe. IRD, BP 2528, Bamako, Mali,

L’eau, la terre et les hommes autour du lac Télé

Région de Tombouctou, Mali

Cissouma Diama Togola

1 Le lac Télé fait partie de cet ensemble de lacs situés tout à fait au Nord et en rive gauche du delta intérieur du Niger. C’est une région humide aux confins du Sahara, qui a connu une histoire troublée entre éleveurs nomades et agriculteurs sédentaires, entre agriculteurs et pêcheurs, et entre les différents groupes d’éleveurs, tous se disputant la gestion des ressources naturelles que sont l’eau et les pâturages. Cette situation s’est aggravée depuis les grandes sécheresses que la région a connue en 1968 et 1972, et qui a vue l’eau du lac et les pâturages s’assécher. A cela s’ajoutent d’autres facteurs comme l’introduction des cultures de contre-saison, qui pose l’épineux problème du partage de l’espace entre les agriculteurs. Avant la sécheresse, la production était suffisante pour les besoins locaux : dès la récolte, les champs et les pâturages du lac étaient abandonnés aux éleveurs. Avec la sécheresse, la production a baissé, ce qui a fait naître chez les agriculteurs le besoin de rechercher d’autres sources de revenus ; les terres jadis abandonnées aux éleveurs sont maintenant cultivées et les recettes issues de la vente des produits de contre-saison servent à acheter les compléments de céréales nécessaires à la consommation familiale.

2 L’assèchement des pâturages fait aussi que les éleveurs descendent plus tôt que d’habitude dans le lac. Les conflits entraînent des recours en justice qui, malheureusement, se font presque toujours au détriment des agriculteurs. Un agriculteur disait à un juge : « Ma terre ne bouge pas, ce sont les animaux qui se déplacent, pourquoi deviendrais-je coupable là où je suis victime ? ». Sa question est semble-t-il restée sans réponse. C’est ainsi que les terres situées au sud du lac ont été abandonnées par les agriculteurs. La réforme de 1973, dont l’objectif était de donner la terre aux véritables exploitants pour augmenter la production et de supprimer le métayage a plutôt aggravé ce dernier, tout en créant des conflits entre les anciens et les nouveaux propriétaires terriens.

Un ensemble lacustre et péri-lacustre exploité

3 Le lac Télé est compris entre les latitudes 16°25 et 16°40 N, à la limite entre le Sahel et le Sahara. Il est administrativement partagé entre la commune rurale du Télé (environ 6 000 habitants), regroupant les villages de Fatakara, Dendéguère et Bougoumeira, avec comme chef lieu Angabéra, et la commune urbaine de Goundam (environ 9 000 habitants). Les deux communes appartiennent au cercle de Goundam, région de Tombouctou. C'est une zone de climat sahélien avec seulement trois mois de saison pluvieuse – en juillet, août, septembre –, une grande irrégularité interannuelle des précipitations (la moyenne se situant autour de 218 mm de pluies par an entre 1923 et 1995), une grande variabilité spatiale et une longue période de sécheresse (1968 – 1993). La zone peut connaître des périodes de bonne pluviométrie comme ce fut le cas durant l'année 1999 avec un total de 342 mm.

4 Le lac Télé est alimenté par le Tassakant, un défluent du fleuve Niger. Avec le lac Takara, auquel il est lié au Nord par un couloir qui donne l'impression d'un cordon ombilical, il couvre une superficie de 13 000 hectares en hautes-eaux. La période et l'importance de l'inondation dépendent de la pluviométrie et de la crue du fleuve Niger. La crue (c'est-à-dire l'intensité d'inondation) peut être qualifiée de normale, faible ou exceptionnelle selon les années hydrologiques :

- la crue normale débute au mois d'août avec une décrue à partir de la mi-février ;
- en période de crue faible, le remplissage du lac se situe dans la troisième décade de septembre et la décrue au mois de mars ;
- une crue exceptionnelle commence en avril et le lac ne tarit pas.

5 Le remplissage du lac est donc fonction de la crue. Il varie entre 65 et 90 %. L'évapotranspiration est très élevée : environ 50 mm par jour. A partir du mois de mai, le lac est à sec et la traversée peut se faire à pied ou en voiture à certains endroits.

6 Les hommes sont habitués à ces irrégularités et ils lui ont adapté leurs activités, non sans problèmes. Trois groupes de producteurs se partagent les activités autour du lac. Il s'agit des agriculteurs, des éleveurs et des pêcheurs, qui se répartissent en plusieurs groupes ethniques. Les Songhoï sont les premiers occupants du lac Télé ; ils constituent plusieurs sous-groupes dont les Gabibi et les Soninké. On leur assimile la presque totalité de la population noire de la zone. Ils représentent 42,6 % de la population totale et sont majoritairement des agriculteurs (93,8 %, tableau 1). Le second groupe est constitué par les Tamashek (37,6 % de l'ensemble) qui se répartissent entre éleveurs (41,7 %) et pêcheurs (42,8 %). L'importance de ce dernier chiffre s'explique par le fait que les Bella qui pratiquent la pêche, se font aussi appeler Tamashek. Il y a des Tamashek noirs et des Tamashek blancs. Les Peul sont minoritaires avec 7,8 % de l'ensemble. Ils sont tous éleveurs. Le dernier groupe ethnique est constitué par les Sorko (1,4 % des enquêtes), tous pêcheurs.

Tableau 1. Répartition des ethnies par activité économique, en pourcentage.

Activités	Songhoï	Tamashek	Bella	Peul	Sorko	Arabe	Bambara	Bozo
Eleveurs	12,5	41,7	0,0	45,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Pêcheurs	41,6	42,8	13,9	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
Agricult.	93,8	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	*42,6*	*37,6*	*10,6*	*7,8*	*1,4*	*0,0*	*0,0*	*0,0*

Source : Enquête C. D. Togola, mars-avril 2000.

7 Chaque groupe ethnique parle plusieurs langues, avec des dominantes qui correspondent aux activités (tableau 2). Le songhoï est la langue la plus courante (47,4 % de l'ensemble ; 65,2 % chez les agriculteurs, 49,8 % chez les pêcheurs et 25,0 % chez les éleveurs). Le bamanan (la langue parlée par les Bambaras, dominante au Mali) est également parlé par toutes les ethnies mais les pourcentages sont beaucoup plus faibles. Le peul est la langue dominante des éleveurs. Par contre, le tamashek est très peu parlé par les agriculteurs mais il domine chez les pêcheurs. Ces derniers parlent toutes les langues. En effet, leur activité les met en contact avec plusieurs ethnies. Il n'y a pas de langue spécifique bella, les Bellas sont d'anciens esclaves qui parlent les langues de leurs anciens maîtres.

Tableau 2. Langues parlées et activités économiques, en pourcentage.

Activités	songhoï	tamashek	peul	bamanan	bozo	arabe	sorko	autres
Eleveurs	25,0	25,0	35,0	10,0	0,0	3,0	0,0	0,0
Pêcheurs	49,8	33,0	3,9	6,9	4,4	0,0	0,5	1,3
Agricult.	65,2	8,7	4,3	8,7	0,0	4,3	0,0	8,7
Total	*47,4*	*29,7*	*8,6*	*7,5*	*3,4*	*1,1*	*0,4*	*1,9*

Source : Enquête C. D. Togola, mars-avril 2000.

Tableau 3. Rapport entre activités et taille de la famille, en pourcentage.

Activités	1-3 pers.	4-6 pers.	7-9 pers.	10-14 pers.	15-24 pers.	> 25 pers.
Eleveurs	8,3	25,0	29,0	29,2	12,5	0,0
Pêcheurs	5,9	15,8	19,8	33,7	24,9	0,0
Agricult.	0,0	31,3	25,0	25,0	12,5	6,3
Total	*5,7*	*19,1*	*21,3*	*31,9*	*21,3*	*0,7*

Source : Enquête C. D. Togola, mars-avril 2000.

8 Autour du lac Télé, les grandes familles[1] sont les plus importantes ; 53,9 % d'entre elles ont plus de 10 personnes (tableau 3). Les familles de 13 à 14 personnes représentent 31,9 % de l'ensemble. Ces chiffres sont au-dessus de la moyenne nationale qui est de l'ordre de 8-9 personnes par famille. Une étude comparative entre les différentes activités et la taille de la famille montre que les familles les plus nombreuses se retrouvent chez les pêcheurs. Cela peut s'expliquer par le fait que la pêche est une activité communautaire qui utilise la totalité des membres de la famille : la pêche proprement dite, la fabrication et la réparation des pirogues, la réparation des filets sont exécutés par les pêcheurs et

leurs fils, donc par les hommes ; les épouses et leurs filles sont chargées de la transformation et de la vente des produits de la pêche. Chez les agriculteurs, il n'y a pas de famille de moins de 4 personnes et on peut y trouver des familles de plus de 25 personnes. Ceci est à mettre en rapport avec la réforme agraire de 1973 : la taille des champs est fonction du nombre de personnes dans la famille.

Trois systèmes de production

Une agriculture multiple

9 La terre, plus qu'un moyen de production, est un capital social et économique auquel s'identifient les propriétaires. L'importance de la famille se mesure à la taille du grenier, ce qui donne une valeur particulière à la terre et à ses modes d'appropriation.

10 En milieu songhoï, la conception traditionnelle de la terre est éloignée de celle généralement admise en Afrique et au Mali, où l'organisation foncière repose sur une alliance mystique entre l'homme et la terre. L'appropriation privée n'existe donc pratiquement pas, la terre appartient à l'ensemble de la communauté : le chef de la terre (généralement descendant du premier occupant) la concède au nom des génies qui en sont les véritables propriétaires. Cette conception nécessite une grande solidarité dans le travail et elle est facteur de cohésion sociale. En milieu songhoï, tous les biens, y compris la terre, ont une valeur pécuniaire et sont susceptibles d'appropriation et d'usufruit. Toutes les terres autour du lac ont été soumises à ces droits depuis le XII^{e} siècle, date de la fondation de Goundam. Sont d'office exclus de l'appropriation les esclaves, les étrangers et les femmes. Si l'introduction de l'islam a permis à ces deux derniers d'y accéder par mariage et héritage, les esclaves en sont restés exclus. Ils ne pouvaient accéder à l'usage de la terre que par métayage.

11 En 1962, l'État malien socialiste nationalise toutes les terres et abolit les hiérarchies sociales, les chefferies et les maîtrises traditionnelles. Mais il n'a aucun moyen de faire respecter ce nouvel ordre social. En 1973, intervient une nouvelle réforme largement fondée sur les principes de la précédente. Pour mieux comprendre l'esprit et les enjeux de cette réforme, il paraît important de rappeler le mode d'appropriation des terres dans le lac Télé tel qu'il existait auparavant.

12 La ville de Goundam a été créée au XII^{e} siècle par un pêcheur du nom de Djimbo Bodo, attiré par les marigots et les lacs poissonneux de la région. Il sera suivi par Fatoumata Malinké, fille de Kankan Moussa, empereur du Mali, de Bomo Diangouyakoy venu de Marrakech, et de Koudaîdia Garougarou de Djenné. Après plusieurs années de vie commune, Djimbo proposa à ses hôtes le partage des terres. C'est ainsi que toutes les terres autour du lac seront partagées entre les premiers occupants. Les terres de Tondikessou qui longent le lac au nord deviennent la propriété des Diangouyakoy, les terres centrales du lac deviennent la propriété des Goundamkoy, descendants de Fatoumata Malinké, les terres du sud du lac reviennent à la famille actuelle Diambakoy, descendants de Koudaîdia. Ces terres connaîtront plusieurs spéculations par la suite, avec l'arrivée des Marocains[2] en 1591, puis des éleveurs touaregs et peuls attirés par l'abondance des pâturages. Ceci dit, la spéculation foncière n'intéressait que les familles nobles, qui faisaient travailler la terre par les esclaves métayers.

13 La réforme de 1973 sera appliquée au moins en partie, avec beaucoup de difficultés et en bouleversant complètement le système traditionnel par la suppression du métayage, la redistribution des terres en faveur des véritables exploitants et par le partage des terres cultivables en fonction des besoins de chaque famille. Les terres retirées à leurs anciens propriétaires ont été divisées en plusieurs parcelles de 10 *soumboy* chacune (soit environ quatre hectares) et redistribuées. Les anciens propriétaires ne devaient conserver que les parcelles qu'ils pouvaient exploiter avec leur famille. Cependant, la commission mise en place pour la réforme n'avait pas les compétences requises pour une action d'une telle envergure et ses membres se sont laissé corrompre : les propriétaires terriens traditionnels, les groupes dominants et les familles aisées de non-agriculteurs, complices des autorités administratives, en profitent pour élargir leur pouvoir et acquérir des terres.

14 En réalité, les véritables bénéficiaires de la réforme ont été les commerçants, les éleveurs et les fonctionnaires, davantage que les exploitants réels. Ne pouvant ni ne voulant cultiver la terre, les anciens et nouveaux propriétaires la confièrent aux esclaves et aux ouvriers agricoles, ce qui favorisa et entretint le métayage contrairement aux vœux des institutions étatiques. C'est ainsi que naquit une nouvelle classe d'exploitants agricoles constituée par des petits propriétaires terriens pour la plupart anciens serviteurs, par la nouvelle élite politico-économique formée de fonctionnaires, commerçants et responsables politiques, et par les métayers ou ouvriers sans terre étant le plus souvent des étrangers ou des dépossédés. Ces transformations du rapport entre la société et la terre ont été favorisées par la sécheresse, qui va susciter également de nouvelles formes d'agriculture, engendrant elles-mêmes de nouveaux rapports à la terre.

15 Au Télé, deux types de culture sont pratiqués : les cultures pluviales, dites encore cultures de crue, et les cultures de décrue. Les cultures pluviales sont pratiquées sur les sols dunaires et dans les bas-fonds inondables. La production est aléatoire parce que soumise aux variations interannuelles de la pluviométrie et de l'inondation. Elles concernent le mil dunaire, la pastèque et le riz flottant. Le mil dunaire est semé en juin-juillet ou à sec en mai – juin, en poquets écartés de un mètre dans tous les sens. Le sarclage se fait une ou deux fois à la daba. Les enfants sont chargés de la surveillance des cultures contre les oiseaux. La récolte se fait en octobre. La pastèque est cultivée seule ou en association avec le mil sur les dunes ou sur les terres exondées du lac. Le semis est réalisé à raison de trois graines par poquet avec un écartement de 1 à 2 mètres. La récolte a lieu en septembre. Pour le riz flottant, le sol est préparé à la daba en avril-mai, en même temps que sont remis en état les ouvrages traditionnels de protection contre la crue et les poissons. La levée est assurée d'abord par la pluie, jusqu'à 30 ou 40 cm de hauteur. Le reste est assuré par la crue dont le niveau de montée ne doit pas dépasser 5 cm par jour au risque de noyer les jeunes plants. Les ouvrages de rentrée d'eau sont munis de dispositifs anti-poissons constitués par des branches d'épineux. La récolte se fait en pirogue, en décembre avant la décrue. Avant la sécheresse de 1972-1973, les cultures de décrue pratiquées étaient le sorgho, le mil, le haricot et l'arachide. Ensuite, avec le faible niveau de la crue et la précocité de la décrue, c'est le sorgho de décrue qui prédomine avec le gombo, l'arachide et les cultures maraîchères. Suite à la sécheresse, le riz a été abandonné autour du Télé. La bonne situation pluviométrique de 1999 encourage à la reprise de la culture du riz.

16 Le sorgho de décrue est semé de mars à mai selon les variétés. La préparation du sol se fait à la daba en faisant des sillons sur lesquels les semis sont réalisés. L'écartement entre

les poquets est de un mètre dans tous les sens, avec dans chaque poquet 5 à 6 graines. Aucun démariage n'est pratiqué après la levée. Le sarclage se fait deux fois, le premier avant les premières crues, le second pendant l'hivernage. La période de maturation correspond à la période de ponte des oiseaux (fin du mois d'août) et dure 23 jours. La récolte se fait au courant du mois d'octobre. Aucun exploitant n'a le droit de récolter avant cette date pour éviter que les animaux n'entrent dans le lac. Le gombo est semé au mois d'octobre, tout de suite après les récoltes des cultures d'hivernage. C'est une culture irriguée qui a été introduite pour combler les déficits de production dus à la sécheresse. L'irrigation se fait à la main avec une calebasse ou par des canaux qui conduisent l'eau jusque dans les planches. La récolte commence au mois de mars. Les cultures maraîchères sont des cultures irriguées de contre – saison. L'arrosage se fait de façon traditionnelle avec une calebasse ou de façon moderne. La confection des digues, des canaux et des planches se fait en octobre et novembre, les semis en novembre et décembre. Sarclages et binages sont constants. La récolte continue jusqu'au mois de mars.

Un élevage peu transformé

17 On trouve au Télé des bovins, des ovins et des caprins, des camelins et des asins (tableau 4). Avec la sécheresse, les individus de race pure sont devenus rares. On trouve dans la zone des métis issus de croisement entre bovins touaregs et peuls et des caprins métis issus des races du Kessou et du Faguibine. Ce dernier croisement est pratiqué par les sédentaires pour améliorer la production de lait ou de laine.

18 L'essentiel des ressources fourragères est constitué de végétation spontanée. On trouve au Télé plusieurs types de végétations dont l'abondance varie en fonction de la pluviométrie et du niveau d'eau du lac. Il s'agit de *Echinochloa pyramidalis* et *E. stagnigna* (ou bourgou), *Ipomea aquatica, Nymphéa lotus.* Les pâturages sont décrits comme appartenant à tous et en libre accès.

Tableau 4. Le cheptel du lac Télé et ses caractéristiques.

Type de cheptel	Poids	Production de lait (litres par jour)	Observations
Bovins			
. zébu peul	300 à 350 kg	2 à 3 en deux traites	En bonne saison
. zébu maure	> 350 kg	6 à 8 en deux traites	En bonne saison
. zébu touareg	400 kg	2 à 4	En hivernage
		1 à 2	En saison sèche
Ovins			
. mouton touareg	30 à 40 kg	0,8 à 4	En bonne saison
. mouton maure à poils court	80 à 100 kg		Elevé pour sa viande
. mouton à laine « koundoum »			Elevé pour sa laine par Peul et Songhoï
Caprins			
. chèvre grise du Faguibine		0,8 à 1	Grande taille, endurante et agile
. chèvre multicolore du Kessou			mauvaise laitière
Camelins			
. chameau bérabiche		8 à 10	
. chameau du Hodh		10 en une traite	
Asins			
. âne africain	de petite taille		utilisé pour le transport

Source : Enquête C. D. Togola, mars-avril 2000.

19 Les deux types d'élevage, sédentaire et transhumant, sont pratiqués au Télé. Le premier est pratiqué par les agriculteurs songhoïs mais aussi par les Bellas, par quelques Touaregs, les Bozos et des fonctionnaires et commerçants. Les animaux sont confiés aux enfants ou à un berger commun à plusieurs propriétaires, souvent un ancien éleveur transhumant qui a perdu ses animaux pendant la sécheresse ou qui ne possède plus assez d'animaux pour faire la transhumance. Les animaux quittent le village le matin pour les pâturages et rentrent le soir. Au village, ils reçoivent un complément de nourriture constitué de fanes d'arachide et de haricot, de bourgou, de chaume de sorgho et de maïs, de son de blé, quelque fois de graines de coton.

20 L'élevage transhumant est pratiqué par les Peul, les Touaregs et les Maures. D'octobre à février, leurs troupeaux se dispersent sur les pâturages exondés des Daounas, du nord du lac Faguibine, du Kamango et dans la zone située entre Goundam, Doueïkiré et Farach. Les « étrangers » arrivent au lac à partir du mois de mai et y restent jusqu'en juillet. La plupart d'entre eux fréquentent le lac depuis plus de 40 ans.

Le maintien de la pêche

21 Traditionnellement, l'eau était une propriété communautaire et les droits de pêche étaient collectifs. Elle était pratiquée d'octobre à mars par toutes les couches de la population, nobles et esclaves. Avant la sécheresse, le lac recevait des Bozos de Mopti, des Somonos de Ségou et même des pêcheurs venant de la république du Niger. La pêche est très fructueuse dans le lac, elle attire de nombreux pêcheurs migrants : lors de notre passage, nous avons rencontré quatre familles de pêcheurs installées depuis deux ans.

D'autres pêcheurs, installés à Goundam, se préparaient à rejoindre le lac Faguibine. La pêche est pratiquée sur le lac d'octobre à mars. Quand les eaux commencent à tarir, les pêcheurs partent vers le sud pour le lac Fati puis le lac Oro.

22 Les engins de pêche utilisés sont la nasse, le filet dormant et la palangre. La nasse est de forme cylindrique. Elle présente à sa base une ouverture qui permet l'entrée du poisson, que seul le pêcheur peut faire sortir par le sommet. Elle est placée dans les aménagements agricoles pendant les crues et les décrues. Le filet dormant est une bande de filet avec des flotteurs à sa partie supérieure et des plombs à sa base. Il est placé dans les endroits dégagés et fixé par ses deux extrémités. Il peut rester tendu plusieurs jours dans l'eau, d'où son nom de « dormant ». La palangre est une série d'hameçons, appâtés ou non, montés sur une longue ligne tendue et soutenue par des flotteurs, placées sur les voies de passages des poissons. Elle est surtout utilisée pour la prise des gros poissons comme les silures et les capitaines.

23 Deux techniques de transformation du poisson sont pratiquées : fumage et séchage. Le fumage exige un four (fermé ou ouvert) et une quantité importante de combustible ligneux, surtout quand le four est ouvert ; le poisson est lavé, écaillé pour certaines espèces et étalé sur le grillage du four. Pour un bon fumage, l'opératrice doit veiller sur l'intensité du feu et retourner constamment le poisson. Le séchage utilise le soleil et le vent comme sources d'énergie ; le poisson est écaillé, lavé, coupé en deux dans le sens de la longueur et étalé sur une natte ou posé à même le sol.

L'adaptabilité des systèmes

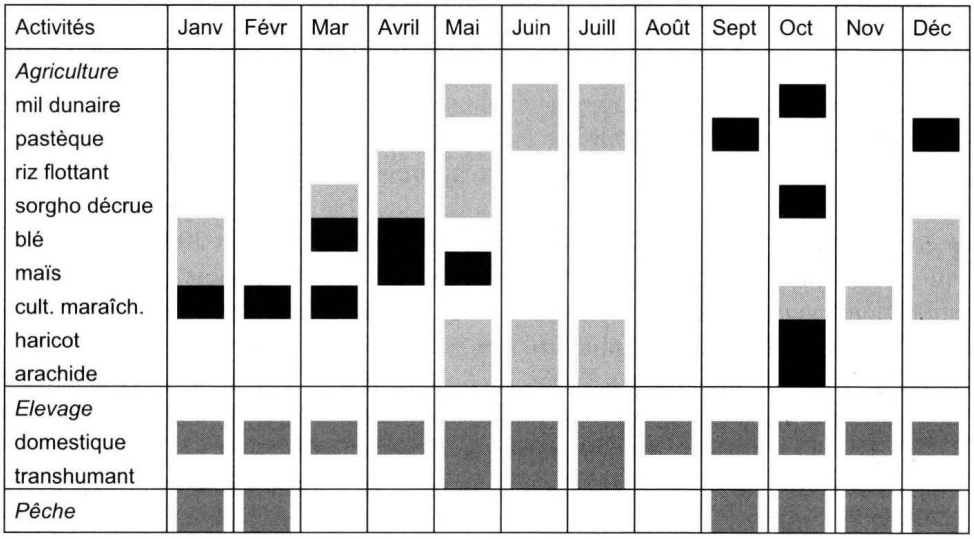
24 Les exploitants des ressources du lac ont toujours su adapter leurs activités au cycle de l'eau. C'est ainsi que depuis la sécheresse de 1972, la culture du riz a été abandonnée. Mais avec la bonne pluviométrie de 1999, les paysans pensent que sa reprise sera possible si la saison des pluies est bonne aussi en 2000. Les superficies cultivées varient avec le niveau de la crue : nous avons constaté lors de nos enquêtes de terrain que les champs de sorgho s'étendaient sur une largeur de quatre kilomètres de plus en 2000 qu'en 1999. La baisse de la pluviométrie a réduit non seulement les superficies cultivées mais aussi la production des cultures pluviales. Elle a entraîné l'appauvrissement des cultivateurs et les a obligés à rechercher d'autres sources de revenus. C'est dans ce contexte que les cultures de contre-saison ont été adoptées. Leur vente sert à acheter le complément de céréales nécessaire à la consommation familiale, mais elles posent des problèmes de partage de l'espace.

25 Avant la sécheresse, toutes les terres de pâture étaient situées dans la zone exondée. Les animaux ne descendaient dans le lac que pour s'abreuver, en suivant des passages tracés à cet effet. Seuls les animaux de l'élevage domestique sédentaire bénéficiaient des résidus de cultures de la zone inondée. Le lac était abandonné par les agriculteurs à partir du mois de novembre au bénéfice de l'élevage transhumant. Depuis la sécheresse, les agriculteurs n'abandonnent plus le lac, les troupeaux transhumants qui arrivent en mai-juin venant de Diré, Tombouctou, Gourma-Rharous, Niafunké pour consommer le bourgou très abondant au lac Télé, sont confrontés à leur présence, comme le montre le calendrier des activités (tableau 5).

26 La coopérative de pêcheurs, mise en place après la sécheresse, a eu une influence fâcheuse sur l'ensemble du système : les pêcheurs qui désormais paient une taxe à l'État estiment que l'eau leur appartient et que personne à part eux n'a le droit de pêcher dans

les eaux du lac ; ce qui est paradoxal puisqu'à la fin du mois de mars ils partent pêcher dans le lac Fati. Cette situation n'est pas sans créer des problèmes entre les différents exploitants du lac.

Tableau 5. Calendrier des occupations de l'espace et des activités autour du lac Télé. Pour l'agriculture, les cases grisées indiquent les activités de semis, les cases en noir les récoltes.



Conclusion

Les conflits entre acteurs

27 Au Mali, les problèmes fonciers sont anciens et persistants. Ils peuvent prendre des allures dramatiques dans certains cas, selon les acteurs et les situations mais des solutions leurs sont fréquemment apportées. Sur le lac Télé, le foncier se rapporte étroitement au calendrier des occupations de l'espace (tableau 5). La période qui suit la récolte était autrefois laissée aux éleveurs mais elle est occupée maintenant par les cultures de contre-saison, d'où conflits entre agriculteurs et éleveurs. Ces conflits sont aggravés par la réduction des pâturages dans la zone exondée, le non respect des passages d'animaux pour l'accès aux bourgoutières ou leur utilisation à des fins agricoles, l'augmentation du cheptel, la divagation des animaux qui est le problème le plus cité. En effet, les éleveurs profitent de l'absence des paysans pour laisser les animaux détruire les jeunes pousses. Les paysans tentent alors d'amener les animaux à la fourrière, d'où opposition des éleveurs, et affrontement à coups de bâton, de coupe-coupe, de hache ou de fusil. Si les conflits perdurent, les terres de cultures concernées sont abandonnées par les paysans. Mais si les pâturages repoussent dans la zone exondée, comme ce fut le cas en 1999-2000, les conflits entre agriculteurs et éleveurs sont atténués.

28 Les conflits entre éleveurs sont généralement relatifs à la propriété des points d'eau, des bourgoutières et des pâtures. Il s'agit le plus souvent de querelles opposant Peuls et Touaregs. Les seuls problèmes qui opposent agriculteurs et pêcheurs sont dus à l'utilisation de la nasse comme engin de pêche. En effet son utilisation exige beaucoup de paille que les pêcheurs laissent sur place, ce qui donne un surcroît de travail aux paysans. Enfin, des conflits existent aussi entre agriculteurs pour la revendication de propriété sur

les espaces cultivés, la succession opposant des héritiers trop nombreux pour les terres à partager, le non paiement des redevances sur les terres mises en location ou mises en métayage, et les limites entre les champs.

29 L'application des lois et règles de l'État – ou l'impossibilité de les appliquer – a joué un rôle dans le déclenchement de certains conflits. C'est ainsi que la réforme agraire de 1973, en donnant la terre à ses exploitants réels, a eu pour conséquence première la remise en cause des anciennes stratifications sociales de type « féodal », le renforcement du métayage, l'aggravation de tensions sociales déjà très fortes en faisant des anciens esclaves, des propriétaires terriens et que l'instauration des taxes a permis à la coopérative de pêche de s'approprier de nouvelles exclusivités. Des inquiétudes, sources de conflits fonciers potentiels, sont nées aussi des perspectives de la décentralisation. En effet, les problèmes engendrés par les décisions étatiques portent sur les limites territoriales et les hégémonies. Dans le processus de décentralisation, la terre est devenue un enjeu important : les terres appartenant aux grandes familles de Goundam et de Fatakara et les droits nés du métayage se juxtaposent maintenant dans la commune rurale du Télé ; les habitants de la commune urbaine de Goundam risquent par conséquent de perdre les terres situées dans le Télé. De plus, le siège de la commune rurale du Télé prévu à Angabéra rencontre de farouches oppositions de la part des habitants de Fatakara. Et le village de Kaney, qui a ses terres de culture au Télé, appartient à une autre commune rurale, etc. Les disputes et conflits nés des maladroites décisions de l'État semblent donc plus difficiles à résoudre que les querelles de droits d'usage qui, malgré leur ampleur, peuvent être en partie résolues par la reprise de la pluviométrie, la régénération des pâturages et l'abondance des points d'eau. Il est donc important, pour une meilleure gestion des problèmes du lac Télé, que des actions de sensibilisation et d'amélioration des techniques et usages soient menées en traitant conjointement les contraintes des trois systèmes de production. L'exploitation raisonnée des ressources en vue d'une meilleure régénération, l'amélioration des techniques culturales en vue d'une augmentation de la production et de l'abandon des cultures de contre-saison, la sécurisation des pâturages devant l'agriculture (par un recensement des terres de culture, par exemple), la régénération et la culture du bourgou, une meilleure maîtrise des eaux, l'aménagement des passages d'animaux (avec notamment la multiplication des passages d'animaux), la lutte contre l'ensablement des terres de culture et la fixation des dunes sont autant de sujets à aborder pour l'espoir d'une exploitation durable des ressources naturelles du Télé. La réussite de ce challenge passe par l'intégration des systèmes et implique que les actions soient menées à la base, l'État et ses partenaires en développement devant jouer un rôle d'accompagnement.

NOTES

1. L'emploi du mot « famille » pour désigner l'unité de production, de résidence et de consommation reste délicat. Nous le préférons ici à celui de « ménage », qui est certes d'emploi plus adéquat, mais dont le contenu, s'il est appliqué aux sociétés de la région du lac Télé, nous paraît trop restreint.

2. Il s'agit des Gakorey ou « peaux blanches », plus connus sous le nom de Arma, et qui sont devenus les administrateurs des lieux ; aujourd'hui encore, ce sont leurs descendants qui détiennent la chefferie à Goundam.

AUTEUR

CISSOUMA DIAMA TOGOLA

Géographe. Université du Mali, Flash, Bamako, Mali,

La riziculture traditionnelle autour de la mare de Débaré dans le delta intérieur du Niger au Mali

Ousmane Maïga, Marcel Kuper et Bénédicte Gosse-Healy

1 Comme partout ailleurs dans le Sahel, le delta intérieur du Niger a été frappé par la sécheresse pendant les années soixante-dix et quatre-vingt. La surface inondée maximale annuelle, qui était de l'ordre de 30 000 km^2 dans les années cinquante et soixante, a été réduite à moins de 10 000 km^2 en 1984 (Orange *et al.*, ce volume[1]). Une forte compétition pour l'exploitation des ressources naturelles s'en est suivie, d'autant plus que le delta était une zone de repli pour les exploitants des zones sèches avoisinantes. Depuis 1994, on assiste à une certaine reprise de la pluviosité et, dans une moindre mesure, de la crue du fleuve (Bricquet *et al.*, 1996). Les connaissances récentes sur le milieu et les modes d'exploitation du delta intérieur du Niger sont relativement abondantes pour l'élevage et la pêche (Breman et de Ridder, 1991 ; Quensière, 1994), mais plus rares pour la riziculture traditionnelle. Les études concernant la filière riz portent sur l'Office du Niger, qui assure 50 % de la production totale de riz du Mali. Les investissements du gouvernement malien, soutenus par les bailleurs de fonds extérieurs, se sont orientés vers le réaménagement des casiers rizicoles de l'Office du Niger. Ce manque d'intérêt de la recherche et du développement pour le delta peut être expliqué par le faible taux de commercialisation du riz traditionnel et la difficulté d'accès aux zones de production (Kuper et Maïga, 2000). Dans ce cadre, le programme de recherche Gihrex (*Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation*) de l'IRD s'est intéressé à la compréhension de la dynamique naturelle du delta, la connaissance de ses modes d'organisation et d'exploitation par l'homme et l'analyse de leur durabilité par la modélisation intégrée.

Histoire et droits fonciers compliqués

2 La mare de Débaré est située entre les villages de Batamani et Saré Marna dans la région de Mopti (fig. 1). Le nombre d'habitants des villages s'élève à 1 300 personnes, réparties dans 139 ménages ; Batamani fait partie de la commune de Dialloubé, et Saré Marna de

celle de Konna. Les riziculteurs de la mare de Débaré, qui cultivent une superficie d'environ 1 500 ha, habitent les deux villages et dépendent de pouvoirs traditionnels différents. Ils ont développé, en fonction de leur appartenance socioculturelle et à travers leurs parcours résidentiels et professionnels, diverses stratégies de production de riz influencées par des indicateurs socio – économiques et par les conditions écologiques du milieu.

3 Une série d'enquêtes réalisées en 1999 autour de la mare de Débaré a mis en évidence une grande hétérogénéité des variétés de riz utilisées, des itinéraires techniques et des rendements obtenus (Rousseau, 1998). L'étude présentée ici se propose d'expliquer l'impact des stratégies sur la production de riz autour de la mare de Débaré. Nous identifions les grandes stratégies paysannes par rapport à l'évolution du milieu, aux indicateurs socio – agronomiques et à la situation socio-économique des groupes de riziculteurs. L'étude concerne les 139 ménages de Saré Marna et Batamani.

4 Une première phase de terrain a permis de comprendre la structure des ménages à travers un sondage. Après un remaniement des outils d'enquête, une deuxième phase de terrain a été effectuée, à l'aide d'un questionnaire « ménage » et d'un guide d'entretien.

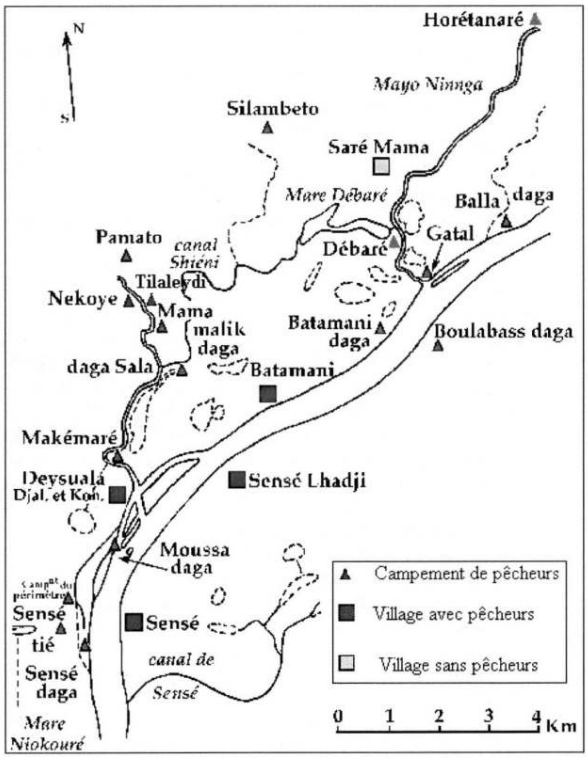


Figure 1. Carte de la zone d'étude autour de la mare de Débaré (source : Observatoire de la pêche, IER/IRD/OPM).

Présentation physique

5 La zone de culture autour de la mare de Débaré est centrée sur un point de latitude 14°52' Nord et de longitude 4°20' Ouest. Elle est située dans la partie orientale du delta et à 15 km au sud-ouest du gros bourg de Konna. Une multitude de campements de pêcheurs (dénommés *daga*), pour la plupart temporaires, exploitent les ressources halieutiques sur l'ensemble de la zone (fig. 1). Le site de la mare de Débaré (aussi appelée « mare de

Batamani ») est une succession de plusieurs mares reliées les unes aux autres et qui se remplissent au fur et à mesure de la montée des eaux. La mare de Débaré proprement dite couvre une superficie d'environ 10 ha à son niveau le plus bas en mai/juin mais peut atteindre plus de 450 ha en période de hautes eaux de septembre à novembre. Autrefois, le remplissage des mares s'effectuait en août/septembre côté sud-ouest par le Shiéni, qui prend son origine dans le mayo Kobossi, un défluent du fleuve Niger. Depuis 1985, un canal artificiel de 150 mètres de long a été creusé entre Débaré et le mayo Ninga, qui dérive du fleuve Niger (fig. 1) ; ce canal permet un remplissage plus précoce de 15 à 20 jours. Il est barré par un ouvrage hydraulique constitués de batardeaux qui permettent aux pêcheurs de gérer le remplissage et la vidange des mares (Marieu, 2000). Aussi, le remplissage de la mare suit un rythme en dents en scie car les pêcheurs placent les batardeaux sous l'ouvrage hydraulique pendant la journée et les retirent la nuit pour créer un courant plus fort et augmenter les captures de poissons. Pendant la période de remplissage, les agriculteurs font le désherbage dans leurs champs soit à sec, soit dans l'eau en fonction de la situation de leurs parcelles. En effet, les variétés de riz sauvage s'égrènent facilement et envahissent les champs des agriculteurs. Pendant les hautes eaux (du 20 septembre au 24 novembre 1998), les paysans ont continué le désherbage de leurs parcelles et profité de la température relativement élevée pour faucher les herbes sur les parcelles en jachère. Ces parcelles seront cultivées l'année suivante. A la fin de cette période, les agriculteurs ont commencé la récolte des variétés hâtives. Le battage s'est fait au fur et à mesure des besoins familiaux. Pendant la première partie de la décrue (du 25 novembre au 7 décembre), la récolte et le battage se sont poursuivis pour les variétés hâtives. En décembre, la récolte des variétés tardives a été entreprise, suivie par le battage. Vers la fin de l'étiage (en juin), les paysans ont entamé les labours et les semis dans les champs de riz.

Aperçu historique du peuplement et occupation de l'espace

6 L'histoire des villages de Batamani et de Saré Mama, telle qu'elle est relatée par les vieux des villages, mérite d'être rapportée ici car elle montre que les relations qu'entretiennent les gens de l'eau (les Bozos, pêcheurs, « premiers exploitants » et détenteurs des eaux) et les gens des terres (les Peuls, éleveurs et agriculteurs, devenus les maîtres politiques de toute la région inondée), ne sont pas uniquement fondées sur la simple répartition des ressources en fonction de leurs spécialisations ethno-professionnelles. Elles sont aussi fondées sur une histoire mouvementée et des relations de pouvoir complexes sur la longue durée. Les récits montrent en outre que, sur cet espace restreint (quelques dizaines de kilomètres carrés), les deux villages voisins et associés rapportent la constitution de leur territoire foncier à une histoire totalement différente. Comme partout dans le delta et ses bordures, les récits des deux villages s'articulent autour de la Dina de Sékou Amadou de l'empire peul du Macina[2]. Cet épisode historique (1818-1863) a structuré les espaces productifs et la répartition des habitants autour d'un ordre peul et musulman, pastoral transhumant pour le cheptel, sédentaire villageois pour les hommes. Les organisations et les règles mises en place au cours de la Dina ont perduré jusqu'à nos jours, sinon dans toutes leurs réalités concrètes, du moins comme références culturelles et politiques très fortes.

7 L'ancêtre des Peuls de Batamani – un Diallo du nom de Dioro – serait venu habiter avec l'ancêtre des Bozos de patronyme Komou, à Diamanapèna, situé à un kilomètre et demi du

village de Batamani. Ce Bozo, exclusivement pêcheur, contrôlait toutes les eaux des environs immédiats et se faisait assister par le Peul, devenu son homme de confiance. Après plusieurs années de cohabitation, le Bozo qui détenait des secrets et de la magie sans jamais le faire savoir au Peul, décida un jour de le rendre propriétaire d'un troupeau de bœufs. Il recommanda au Peul de se rendre chez Sékou Amadou – en son propre nom – pour demander un pâturage et Sékou Amadou lui en indiqua juste à côté du finage contrôlé par les Komou. Komou fit alors à celui qui était devenu son voisin la proposition suivante : « Viens avec moi au fleuve. Tu t'arrêteras là où je te l'indiquerai et tu tourneras le dos au fleuve. Moi j'y entrerai et dès que je te demanderai de partir, tu partiras sans t'arrêter, sans regarder vers le fleuve. Tu entendras les bœufs mugir derrière toi mais tu ne regarderas pas derrière toi. Tu t'arrêteras quand le plus gros taureau sortira de l'eau, je te donnerai le signal. Ce taureau est noir et il est le symbole de l'acquisition définitive du grand troupeau qui accompagnera toute ta descendance ». Ils partirent au fleuve et les consignes furent suivies, sauf la dernière. Le Peul, par précipitation ou par ruse, se retourna alors qu'il ne restait que les deux pattes arrières du taureau dans l'eau, lui faisant perdre par-là, à la fois, le reste du troupeau et sa conservation par ses descendants.

8 Néanmoins, le Peul remercia le Bozo et l'intéressa à la gestion du lait, de la viande et des animaux vendus. Les descendants du Peul occupèrent totalement la zone de pâturage, s'approprièrent des herbages, des terres et même quelques mares. Lorsque leur troupeau commença à diminuer, ils rejoignirent le village de Ninga où ils sont encore installés et d'où ils contrôlent les animaux en transhumance et les terres. N'ayant pratiquement plus de troupeaux à eux, ils prennent des tributs en nature ou en espèces sur leurs pâtures et sur les champs de riz aux abords des mares qu'ils contrôlent, dont celle de Débaré. Voulant se rapprocher des milieux poissonneux, Komou qui avait une pêcherie sur la rive droite du fleuve Niger, en fit sa résidence définitive. Il y fut rejoint par les Sirébara qui occupaient déjà les pêcheries de la rive gauche. Le plus ancien de ce groupe, nommé Moussa Sirébara, pense que ses ancêtres se sont installés environ soixante ans avant l'arrivée des autres groupes.

9 Le groupe de Rimaïbé Belly s'installa à Batamani pour la culture du riz. Ses champs, alors situés hors de la mare de Débaré ne lui ont pas été attribués par les Bozos dont la seule activité était la pêche, mais par Sékou Amadou, qui voulait étendre la Dina dans tout le delta. Il envoya auprès des Bozos un de ses talibés, un Cissé, devenu marabout par la suite et qui devait convertir la population à l'Islam. Il n'eut aucune difficulté car le groupe Belly était culturellement proche de lui, tous parlant la langue peule. Les Belly étaient à leur arrivée des agro-éleveurs, les Cissé des marabouts-éleveurs. Actuellement, ce sont les Cissé qui détiennent le pouvoir : Ambarké Cissé, chef des Cissé, est le chef du village de Batamani ; son frère en est l'imam. Malgré l'autonomie apparente des chefs de lignage et des chefs traditionnels du village de Batamani, le pouvoir traditionnel du village semble être affecté d'une part, par la présence des Dioro de Ninga qui se disent propriétaires de toutes les terres, et d'autre part, par la tentative de domination d'un groupe et l'isolement des autres groupes du centre de décision sur les destinées du village. Après une longue cohabitation, les années de sécheresse et de pénurie aidant, les populations ont accaparé des terres cultivables qui échappaient au contrôle des Dioro. C'est ainsi que l'on distingue des pêcheurs et des agro-pêcheurs chez les Komou et les Sirébara, des éleveurs et des agro-éleveurs chez les Belly et les Cissé.

10 Venus du nord du Mali, les autochtones de Saré Marna se disent descendants de Chérif (*Sirifi* dans la langue locale). Au Mali, la presque totalité des Chérifs sont des Haïdara, arabo-berbères venus du Maroc, très islamisés. Partis de Sirifiga au nord de Tombouctou, les Chérifs de Saré Marna se sont déplacés dans le delta et ont trouvé refuge un temps à Sensé (en face de Batamani) où ils avaient reçu des terres. Saré Marna fut fondé parce que l'ancêtre des Traoré voulait ou devait se rapprocher de ses champs et du cours d'eau, longtemps avant l'Empire de Sékou Amadou d'après la tradition[3].

11 La population pratiquait la riziculture et la pêche. Les zones de cultures et les mares avaient été la propriété des familles qui les exploitaient. Pendant la Dina, les Peuls qui vivaient de l'élevage et qui détenaient la quasi-totalité du cheptel, se sont appropriés les zones rizicoles et même des terres marginales, mais Sékou Amadou assura la sécurité des Chérif et leur demanda de choisir un lieu où mener leurs activités. Ils choisirent alors la rive droite du fleuve Niger mais ne s'entendirent pas avec les Bozos qui y étaient installés depuis plusieurs années et ils revinrent s'installer sur le site actuel de Saré Mama, en rive gauche. Sékou Amadou leur donna la gestion du mayo Ninga et des terres de cultures situées entre le mayo Ninga et la brousse. De nos jours, ce contrat est très contesté. La sécurisation et les potentialités agricoles et piscicoles de la zone amena d'autres familles markas, bozos et somonos, en manque de terres agricoles et de territoires de pêche, à s'installer au village. Pour éviter la destruction des cultures par les animaux des Peuls, les agriculteurs cultivaient les terres situées dans la périphérie immédiate du village et celles situées très loin des zones de pâturage. Toutes les aires de culture sont appelées *féyo,* ce qui signifie « terre exclue de la gestion peule ». C'est seulement en 1973 que les paysans ont commencé à cultiver les champs autour de la mare de Débaré, qui relève de la gestion des Peuls de Ninga.

12 A Batamani, contrairement à Saré Mama, l'ancienneté de résidence est déterminante dans le mode d'occupation de l'espace et dans les stratégies de la production de riz. L'ordre d'arrivée des groupes à Batamani a orienté l'occupation de l'espace et l'agrandissement du patrimoine foncier. La presque totalité des champs des Komou est située autour des mares. Les champs les plus vastes sont autour de Diamanapèna, entre celui-ci et le village, alors que les autres longent le fleuve Niger en amont du village. Ceux des Sirébara longent aussi le fleuve mais en aval du village. Ils font frontière avec ceux des Komou. Le patrimoine des Belly se localise surtout en zone moyenne et haute. Selon les premiers arrivants, les terres des Belly sont marginales. Les champs des Cissé sont pour la plupart proches du village. Ils sont bloqués par ceux des autres groupes d'où difficulté à les étendre. Pour cultiver de nouveaux champs, ils doivent aller au-delà de ceux des autres groupes, déjà très vastes.

13 A Saré Marna, l'agencement des champs est plus net. Si autrefois les familles élargies cultivaient les mêmes champs, il y a eu morcellement de l'espace depuis. Malgré la redistribution des terres, les familles patrilinéaires exploitent les mêmes grandes zones. Cependant celles qui manquent de terres peuvent en demander aux autres familles car elles sont issues du même ancêtre. Les autochtones de Saré Marna (les Traoré et les Haïdara) se disent propriétaires de toutes les terres du village. Ce sont eux qui ont accordé des terres aux groupes qui sont venus ensuite. Les immigrants agricoles – qu'ils viennent de Sensé, de Kotaka ou d'autres villages voisins – sont installés généralement dans les champs lointains pour une ou deux campagnes rizicoles. Aussitôt après les récoltes, ils repartent dans leur village. Ils peuvent cependant venir pendant plusieurs

campagnes successives aussi longtemps que les propriétaires détiennent des réserves pour leur propre famille.

Les riziculteurs de Débaré : société et économie

14 Si la composition ethnique de Batamani est complexe, celle de Saré Mama semble plus homogène : 85 % des ménages autochtones sont des Chérifs dont la langue est le bozo. Les ménages de Batamani représentent 60 % de l'ensemble des deux villages. Les quatre groupes ethniques dominants dans les deux villages sont dans l'ordre : les Bozos, les Chérifs, les Rimaïbés et les Peuls (tableau 1). Les noms des groupes sont synonymes du mode de vie de chacun et il existe une tendance à pratiquer l'activité principale de l'autre comme activité secondaire. Ne dit – on pas que « si Peul est synonyme d'éleveur, Bozo l'est pour le pêcheur et Chérif-Rimaïbé pour le riziculteur ; mais lorsqu'ils vivent ensemble, chacun pratique par affinité ou par rapprochement l'activité de l'autre comme secondaire ou tertiaire ». Cette perception s'accompagne de la superposition sur le même espace d'activités traditionnellement supposées incompatibles et de la complémentarité entre les groupes résidents. Selon les stéréotypes, la femme peul a son lait, la femme bozo a son poisson et la femme chérif ou rimaïbé a son riz. Ni les unes ni les autres ne peuvent vivre exclusivement de ce qu'elles possèdent, elles sont obligées de sauvegarder les rapports sociaux indispensables à leur survie. Ces représentations expliquent la domination des quatre groupes ethniques contrôlant l'ensemble des ressources naturelles.

Tableau 1. Composition ethnique des villages de Batamani et de Saré Marna.

Ethnies	N mbre de ménages			Pourcentage (%)		
	Batamani	Saré Mama	*Total*	Batamani	Saré Mama	*Total*
Bozo	51	4	*55*	61	7	*40*
Chérif	0	43	*43*	0	78	*31*
Rimaïbé	16	1	*17*	19	2	*12*
Peul	13	0	*13*	15	0	*9*
Total	*84*	*55*	*139*			

Source : enquêtes Maïga *et al.*, 2000.

15 Les ménages bozos, représentés par les patronymes Sirébara et Komou, constituent 61 % des groupes ethniques du village de Batamani, et seulement 7 % de ceux de Saré Marna. Les Rimaïbé et les Peuls, deux groupes ethniques très distincts, représentent respectivement 19 et 15 % des ménages de Batamani et sont également peu nombreux, voire absent de Saré Marna. Par contre, les Chérifs forment le groupe ethnique très largement dominant à Saré Marna avec 78 % des ménages, et sont absents de Batamani. Le reste des ménages, de 5 à 10 %, sont à parts égales Dogon ou Mabo, pour la plupart d'installation récente. Les ménages bozos (7,3 %) et les autres groupes allochtones de Saré Marna ont subi l'influence socioculturelle du groupe majoritaire chérif. Par rapport aux systèmes de culture et au mode de vie, les Bozos ne se distinguent que très peu des Chérifs. La taille moyenne du ménage est de 9,5 personnes pour l'ensemble des ménages. La taille moyenne du ménage est légèrement plus importante à Saré Marna (9,9) qu'à

Batamani (9,1), du fait de la taille inférieure du ménage des Peuls (8,5) et des Rimaïbés (7,7) par rapport à celle des Chérifs (9,6) et des Bozos (9,9).

16 Les ménages se distinguent largement en fonction de leur activité principale : dans le delta en général, l'appartenance à un groupe ethnique est déterminante dans le parcours professionnel. Ainsi dans la zone d'étude de Débaré, les Chérifs et les Rimaïbés sont riziculteurs, les Bozos sont pêcheurs ou agro-pêcheurs et les Peuls sont éleveurs. La sédentarisation des Bozos dans les villages et dans des campements permanents s'accompagne de la riziculture.

17 La cohabitation de ces groupes les amène à pratiquer simultanément l'activité principale des autres en activité secondaire (tableau 2). C'est ainsi que les Bozos aussi bien que les Peuls font de la riziculture, et les Chérifs et les Rimaïbés font de la pêche. Ces deux groupes se distinguent des autres par l'importance des activités annexes rémunératrices ou simplement des services sociaux. Les résultats de l'enquête montrent que l'agriculture et la pêche font en général bon ménage. Dans aucun cas, les chefs de ménage ne mentionnent l'élevage comme activité secondaire, même s'ils sont propriétaires d'un certain nombre d'animaux. Les autres activités concernent principalement le commerce, les activités religieuses, le tissage, la couture et la forge. Les deux villages sont globalement sous équipés. Le matériel agricole est vétuste et se limite à la charrue et aux bœufs de labour. Les Bozos, les Rimaïbés et les Chérifs sont connus dans la zone comme étant les plus gros riziculteurs et les détenteurs de la quasi-totalité de l'équipement agricole. Ils sont presque exclusivement propriétaires des charrues, des charrettes et des herses : les Bozos, les Rimaïbés et les Chérifs détiennent respectivement 34, 16 et 42 charrues sur un total de 105 dans les deux villages (Maïga *et al.*, 2000).

Tableau 2. Composition ethnique et activités professionnelles des chefs de ménage dans les villages de Batamani et de Saré Marna (en pourcentage).

Ethnies	Act /ités principales				Acti ités secondaires			
	agriculture %	pêche %	élevage %	autres %	agriculture %	pêche %	élevage %	autres %
Bozo	9	86	-	5	86	7	-	7
Chérif	98	-	-	2	-	56	-	44
Rimaïbé	95	-	-	5	-	30	-	70
Peul	8	-	92	-	92	8	-	-

Source : enquêtes Maïga *et al.*, 2000.

18 Dans le delta, il se pratique plusieurs types de pêche en fonction du milieu (fleuve, défluents, plaines, mares...) et de la saison de pêche fonction du rythme de la crue (Quensière, 1994). Les engins de pêche sont adaptés à ces différents milieux et il en existe un très grand nombre. Un total de 1 300 engins de pêche et 55 pirogues a été recensé dans les deux villages (Maïga *et al.*, 2000). La pêche professionnelle est pratiquée par les Bozos. Ils sont les plus gros propriétaires d'engins et d'embarcations de pêche avec presque 80 % du nombre total d'engins de pêche.

19 Les paysans de Batamani et de Saré Marna possèdent une certaine quantité d'animaux pour le labour des terres agricoles, et pour la viande et le lait. Le cheptel est également un indicateur de prestige et sert de réserve monétaire en cas de besoin. Il est difficile d'obtenir les chiffres réels de la population animale des deux villages : selon les paysans,

les villageois possèdent 240 bœufs de labour, 150 bovins et presque 300 ovins et caprins (Maïga *et al.*, 2000). Les quatre groupes dominants détiennent la presque totalité du cheptel. Mais Chérifs, Bozos et Rimaïbés possèdent surtout des bœufs de labour et des petits ruminants. Les ménages s'abstiennent de déclarer le nombre exact de leurs biens en général, surtout celui des charrues, des bovins et des ânes, qui sont particulièrement soumis aux impôts. Les chiffres sont donc sous-estimés. Les Chérifs possèderaient 52 % des bœufs de labour, les Bozos, les Rimaïbés et les Peuls en détiendraient respectivement 28 %, 15 % et 3 %. Le nombre des bœufs de labour caractérise l'importance du patrimoine foncier qui explique à son tour le nombre et la superficie des parcelles cultivées par ménage. Les Peuls occupent le premier rang parmi les propriétaires de bovins avec 52 %. Il est dit que « quel que soit le nombre de zébus détenu par un Peul, il préfère les visiter tous les matins et tous les soirs dans le parc que d'en soumettre un seul aux travaux agricoles ».

20 Les habitants de la zone d'étude font appel à un effectif impressionnant de main-d'œuvre extérieure. Au total, plus de 14 000 hommes-jours sont nécessaires pour faire la récolte, le battage et le transport (tableau 3). Cela implique le travail de plus de 350 personnes dans la zone d'étude pendant 40 jours... En divisant la récolte par la main-d'œuvre employée, il ressort qu'un homme ne récolte qu'une fraction d'un sac de 80 kg de paddy par jour (en moyenne un peu plus de 10 kg de paddy). Cependant, dans des ménages qui font travailler uniquement la main-d'œuvre extérieure, la récolte par jour et par personne peut augmenter jusqu'à 70 kg.

Tableau 3. Main-d'œuvre employée pour la récolte, le battage et le transport du riz traditionnel dans les villages de Batamani et de Saré Marna (en hommes-jours moyen par ménage).

Ethnies	Récolte		Battage		Transport	
	ménage	Extérieur	ménage	Extérieur	ménage	extérieur
Bozo	28	22	8	4	3	1
Chérif	81	173	13	20	7	19
Rimaïbé	71	65	7	7	5	2
Peul	13	13	3	3	2	2
Moyenne	*48*	*73*	*9*	*10*	*5*	*7*

Source : enquêtes Maïga ef *al.*, 2000.

21 Les habitants du delta sont connus pour leur grande mobilité : ils se déplacent à l'intérieur de la zone inondable pour exploiter ses ressources (les poissons, les terres fertiles, les pâturages) suivant un rythme imposé par les pluies et la crue. Les habitants du delta se déplacent également vers l'extérieur pour chercher des salaires et des revenus dans les grandes villes (Mopti, Bamako, Dakar, Abidjan, Bouaké) ou pour faire la campagne agricole des cultures sèches telles que le mil ou le sorgho. Il n'est guère surprenant de constater que lors de nos enquêtes en 1999 dans la zone d'étude, environ 20 % des habitants n'étaient pas sur place pour une période relativement longue (tableau 4). Il y avait aussi très peu d'étrangers, ce qui est tout à fait logique car les travaux de labour n'avaient pas encore commencé. Les habitants de Batamani et Saré Marna sont

souvent nés au village, mais il existe des déplacements de résidence entre villages voisins. Rares sont les habitants d'origine plus lointaine (Maïga *et al.*, 2000).

Tableau 4. Profil résidentiel des habitants de Batamani et de Saré Marna (en mars/avril 1999).

Villages	Résidents présents	Résidents absents	Non-résidents	Visiteurs	*Total*
Batamani	581	140	26	14	*761*
Saré Mama	425	86	34	2	*547*
Total	*1006*	*226*	*60*	*16*	*1308*

Source : enquêtes Maïga *et al.*, 2000.

22 Plus de la moitié des ménages de la zone d'étude envoient une ou plusieurs personnes hors du delta pour la campagne agricole des cultures sèches. Chez les riziculteurs, le pourcentage de ménages concernés peut s'élever à 70 %. Dans la plupart des cas, il s'agit de paysans qui se font employer pour la récolte. Comme la main-d'œuvre est en général payée en nature, cette migration permet aux ménages d'assurer la consommation familiale de céréales sèches. La pêche de décrue loin des villages d'origine est effectuée surtout par des ménages bozos : 60 % d'entre eux envoient en moyenne 5 personnes pour cette pêche lucrative. L'exode après la récolte de riz pour aller en ville concerne surtout les riziculteurs et les Bozos. En mars 1999, respectivement 48 % et 25 % des ménages avaient des membres en ville.

Les activités rizicoles

Itinéraires techniques et calendrier cultural

23 Les itinéraires techniques suivent en général un calendrier déterminé par la tradition et le cycle naturel, mais légèrement variable suivant la disponibilité en eau (fonction de la pluie et de l'inondation). Les calendriers culturaux pour l'ensemble du delta sont décrits, entre autres, par Gallais (1984) et Fay (1994), repris par Poncet (1999). Nous avons relevé avec les exploitants de Batamani et de Saré Marna leur calendrier agricole (tableau 5).

Tableau 5. Calendrier agricole des paysans de Batamani et de Saré Marna en 1998/1999 (en pourcentage de ménages).

Activités	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janvier
semis/labours	15	77	7	1				
désherbage			54	37	9			
récolte					5	56	39	
battage						13	66	21
transport						12	61	27

Source : enquêtes Maïga *et al.*, 2000.

24 Les paysans de la zone d'étude attendent les pluies de juin pour commencer les semis ; 92 % des ménages les ont terminés avant fin juillet (rappelons qu'en 1998 l'eau est arrivée dans la mare de Débaré le 7 août). Le désherbage se fait le plus possible sous pluie avant l'arrivée de l'inondation, mais est effectué dans l'eau par presque la moitié des ménages. La récolte commence en octobre ; elle est effectuée en novembre pour les variétés hâtives et en décembre pour les variétés tardives. Il est intéressant de constater qu'en 1998 le battage a commencé en retard et que c'est seulement en décembre que cette activité a pris place. Les paysans expliquent ce retard par la présence de l'eau : la décrue de 1998 ne s'est amorcée que le 25 novembre dans la mare de Débaré. Ensuite, les paysans ont été pressés de terminer le battage avant l'arrivée des troupeaux début janvier. Le manque de main-d'œuvre peut expliquer le retard de certains exploitants.

La production de riz

25 Pour définir les activités agricoles des ménages de la zone d'étude, nous avons déterminé un certain nombre d'indicateurs (tableau 6) : le nombre de parcelles, la superficie de riz en submersion libre cultivée sur la superficie totale disponible et la production de riz en submersion libre (en sacs de 80 kg). On notera cependant qu'il est difficile de mesurer les rendements à cause des transactions qui prennent place entre la récolte et le stockage à domicile (Maïga *et al.*, 2000). La superficie des terres agricoles disponibles pour la culture du riz en submersion libre est presque identique pour les villages de Batamani et de Saré Mama. Cependant, à Saré Marna, les paysans travaillent davantage leurs terres (75 %) qu'à Batamani (59 %), pour deux raisons. D'une part, les Bozos de Batamani ont comme activité principale la pêche, ce qui explique que leurs superficies cultivées soient moins importantes (6,7 ha) que celles des Chérifs de Saré Mama (10,7 ha) qui ont l'agriculture comme activité principale ; et, d'autre part, les Rimaïbés de Batamani, qui s'occupent souvent également des terres des Peuls, n'ont pas le temps de cultiver toutes les leurs.

26 La production de riz en 1998/1999 n'a même pas atteint la moitié de la production de l'année précédente : 167 t contre 359 t en 1997/1998 pour l'ensemble de la zone d'étude (tableau 6). Les rendements en 1998/1999 ont été faibles : environ 150 kg ha^{-1}, pour plus du double en 1997/1998. Les paysans attribuent ces faibles rendements à la mauvaise répartition des pluies et de la crue, à la présence des insectes et des adventices, et surtout aux oiseaux granivores qui se sont particulièrement manifestés cette année-là. Les paysans qui ont comme activité principale la riziculture (Rimaïbé, Chérif, Marka) obtiennent les rendements les plus élevés : de 100 à 180 kg ha^{-1} en mauvaise année, de 230 à 450 kg ha^{-1} en bonne année (tableau 6). Les Peuls obtiennent toujours des rendements très largement inférieurs, de 80 à 170 kg ha^{-1} selon l'année, peut-être par manque de main d'œuvre pour lutter contre les oiseaux granivores.

Tableau 6. Indicateurs agricoles rizicoles pour les ménages de Batamani et de Saré Marna (superficie cultivée en hectare et en pourcentage de la superficie totale ; production annuelle en nombre de sacs de riz, en tonnes et en rendement à l'hectare).

Villages / Ethnies	Superficie totale (ha)	Nombre de ménages	Nombre de parcelles	Superficie cultivée		Production 1997/98			Production 1998/99		
				ha	%	Nbre de sacs	tonne	Rend^{t} (kg ha^{-1})	Nbre de sacs	tonne	Rend^{t} (kg ha^{-1})
par village :											
Batamani	815	84	310	479	59	2 580	206,4	431	705	56,4	118
Saré Mama	833	55	327	622	75	1 910	152,8	246	1 382	110,6	178
Total	*1 648*	*139*	*637*	*1 101*	*67*	*4 490*	*359,2*	*326*	*2 087*	*167,0*	*152*
par ethnie :											
Bozo	619	55	238	369	60	2 049	163,9	444	503	40,2	109
Chérif	632	43	253	460	73	1 345	107,6	234	1 054	84,3	183
Rimaïbé	182	17	66	87	8	447	35,8	411	179	14,3	165
Peul	75	13	34	57	6	121	9,7	170	59	4,7	83

Source : enquêtes Maïga *et al.*, 2000.

27 Le rapport entre la superficie cultivée et la superficie totale, différencié pour les différents groupes professionnels, est présenté en figure 2. Les courbes de tendance confirment que les ethnies, qui ont la riziculture comme activité principale cultivent davantage de terres que ceux qui ont la pêche comme activité principale, sauf chez les Rimaïbés de Batamani.

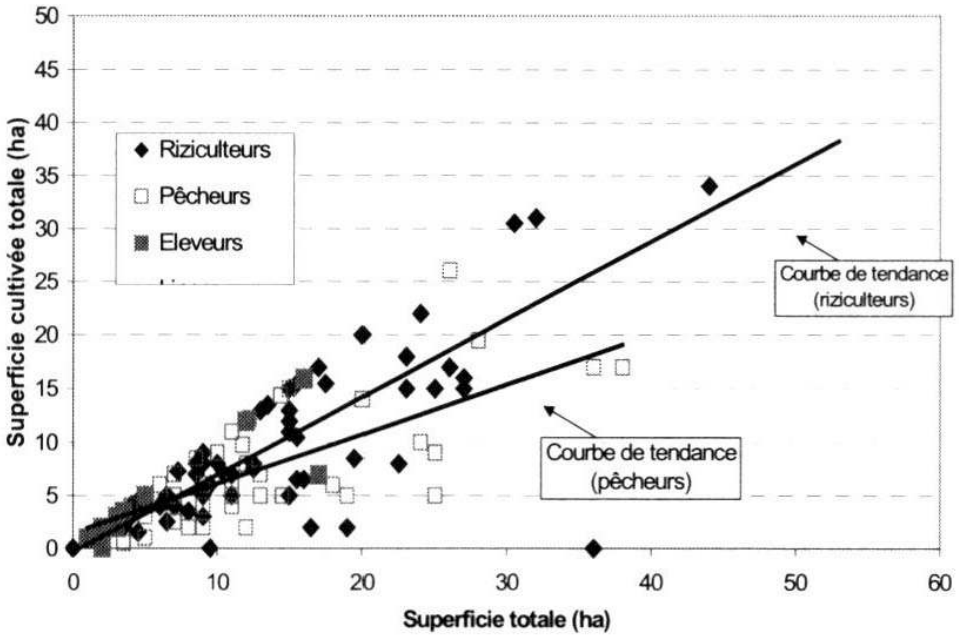


Figure 2. Superficie cultivée par rapport à la superficie totale par ménage pour les villages de Batamani et de Saré Marna (n = 139).

Les stratégies paysannes et la production de riz

28 Les modes d'exploitation du riz dans la zone d'étude évoluent continuellement. Les paysans s'adaptent d'une année à l'autre aux différentes conditions de culture, selon les conditions climatiques et hydrologiques locales. Les modes d'exploitation évoluent également sur le long terme en raison des progrès technologiques (par exemple, introduction puis popularisation de la charrue dans les années 1960 et 1970) et de la dynamique démographique (naissances, migrations) : le développement économique de la Côte d'Ivoire, par exemple, avait incité beaucoup de paysans à quitter le delta pour tenter l'aventure urbaine. La production de riz dans le delta est également limitée par les prédateurs (oiseaux granivores, coléoptères, poissons rhizophages...), par le manque d'équipement et de main d'œuvre et par la compétition avec l'élevage pour l'espace. Ces contraintes ont amené les paysans à développer des stratégies de réduction des risques de mauvais rendements rizicoles, notamment en diversifiant leurs activités professionnelles.

L'évolution du milieu et la genèse des stratégies

29 La sécheresse continue des années 1970 et 1980 a mis les populations du delta à rude épreuve pour l'exploitation des aires rizicoles. Les crues étaient trop faibles pour l'inondation de la totalité des terres agricoles et les décrues étaient précoces, les quantités de pluie insuffisantes pour amener la germination et le tallage du riz flottant. Dans la zone d'étude, les riziculteurs qui exploitaient essentiellement les zones hautes et moyennes, ont dû se rabattre dans un premier temps sur les berges immédiates de la mare de Débaré, où il n'était pas coutume de cultiver car l'humidité n'y permet de récolter que le dixième de ce qu'ils produisaient dans les champs auparavant cultivés. N'ayant pas trouvé d'autre alternative, ils descendirent dans un second temps dans la mare elle-même où les terres sont plus lourdes et donc difficiles à labourer : le phénomène n'est pas confiné à la zone d'étude, Gallais (1984) avait constaté cette « descente » des rizières. Or la « descente » dans les zones basses n'est pas sans risque : les poissons s'attaquent aux plantes ; le bétail, à la recherche de fourrage et d'eau, détruit les cultures ; et les conflits d'usages avec les pêcheurs qui fréquentent intensément les mares, sont fréquents. Pour contrôler cette situation, les agriculteurs se sont mis à creuser des arrivées d'eau dans les champs situés en zone moyenne autour de la mare de Débaré et des autres petites mares. Puis grâce au financement d'une ONG, un canal artificiel de 150 m a pu être construit pour relier la mare de Débaré au mayo Ninga pour en faciliter le remplissage (fig. 1).

30 Depuis la reprise d'un régime hydro-pluviométrique « normal », à partir de 1994, les paysans cultivent de nouveau certains champs dans les zones moyennes et hautes. Kuper et Maïga (2000) décrivent le même phénomène dans l'ensemble du delta. Notons aussi que le Kotia, une plaine d'inondation relativement basse du centre du delta, a été pendant la sécheresse un site-refuge : les cultivateurs des territoires voisins (du Ranéo, du Mourari et même de Mopti[4]) y venaient cultiver le riz. Cette pratique s'est cependant limitée à des déplacements temporaires pendant la saison de culture, et les paysans continuaient d'habiter leurs villages d'origine (Kelly *et al.*, 1998). Il est intéressant de constater qu'après les crues abondantes de 1994 et 1995, ces paysans se sont repliés sur leurs anciennes zones de culture.

31 Les nuisances dues aux prédateurs sont nombreuses. La présence d'oiseaux granivores (*Charadrius spp*) n'est pas un fait nouveau dans le delta. Ils sont à l'origine de nombreuses disettes dans la zone étudiée. Les uns font leurs nids dans les environs immédiats de la mare, d'autres viennent de plus loin : ce sont les plus craints des paysans qui ne savent pas d'où ils viennent. Se déplaçant en nuages compacts et sombres, ils peuvent dévaster des champs de plusieurs hectares en très peu de temps. Traditionnellement, les paysans réduisent leur présence par des moyens physiques et mystiques, en surveillant les champs, soit individuellement, soit en communauté. En choisissant des variétés de riz précoces, les paysans peuvent récolter plus tôt et diminuer ainsi la durée de la lourde main d'œuvre de surveillance de leurs parcelles. L'autre avantage de la culture des variétés hâtives est qu'elle permet la récolte de riz avant l'arrivée des troupeaux de bovins. Cependant, les paysans préfèrent les variétés tardives pour leurs rendements supérieurs.

32 Les riz sauvages *séko* (*Oryza barthii*) et *bau* (*Oryzalongistaminata)* sont les variétés d'adventices les plus envahissantes des champs de riz. Elles ne se distinguent des plants de riz cultivé qu'à l'épiaison. Les paysans pensent que l'envahissement est dû au manque de main d'œuvre ou à la négligence à l'égard des bonnes pratiques et du calendrier agricole. La technique la plus simple pour lutter contre les mauvaises herbes, et qui ne demande aucun investissement, est la jachère. Après cinq à dix ans de jachère, le *séko* laisse la place au *bau* qui est très apprécié par les animaux et plus facile à éradiquer. A la reprise de la culture, le champ est brûlé puis labouré ce qui remet ainsi en surface les graines du *bau* qui attirent les oiseaux. Les deux autres techniques sont le désherbage systématique et le fauchage. Elles demandent non seulement beaucoup de main d'œuvre mais aussi plusieurs années pour éliminer les adventices. Dans le cas du désherbage systématique, le paysan effectue des passages répétés dans le champ pour arracher les mauvaises herbes au fur et à mesure de leur croissance. Le fauchage est pratiqué avant la maturation des espèces indésirables. Le paysan laisse pousser les plantes pour diminuer le stock de graines dans le sol. Le fauchage se fait lorsque les plantes ont une trentaine de centimètres, avant la mise en eau de la parcelle, ou plus tard, au moment de l'épiaison. Les parcelles en jachère contribuent à la consommation humaine par la récolte du riz sauvage. On constate même une commercialisation de ce riz, souvent appelé *maro bellabé,* car c'est souvent l'ethnie bella qui pratique cette cueillette (Kuper et Maïga, 2000).

33 La population du delta a augmenté de 50 % entre 1960 et 1980 (Gallais, 1984). Selon le recensement de 1998, la croissance démographique s'est confirmée dans les deux dernières décennies pour atteindre une population de 975 000 habitants. Selon Gallais (1984), la superficie cultivée en riz aurait augmenté de 30 % entre 1952 et 1971, grâce à l'adoption massive de l'agriculture attelée. Dans la zone étudiée, on constate en effet des défrichements sur de très anciennes jachères. Cette augmentation rapide de la population et la superposition sur les mêmes espaces d'activités dont les calendriers sont quelquefois incompatibles, ont engendré des conflits graves, souvent sans solution envisageable. Notons entre autres, le conflit entre les pêcheurs de Batamani Daga et les riziculteurs de Saré Mama, puis celui entre les éleveurs de bétail transhumant et les riziculteurs de ces deux villages. Dans le premier cas, des champs de riz appartenant à des proches du chef de village de Saré Mama avaient subi des dégâts importants causés par le passage de pirogues de pêcheurs campant temporairement à Batamani Daga. Sachant que le chef du campement de pêcheurs est originaire de Batamani, le chef de village de Saré Mama le convoqua chez les chefs du village de Batamani (c'est-à-dire le chef peul et le chef bozo,

lequel se trouve être le frère aîné du chef de campement) pour résoudre le problème, non résolu malgré des négociations suivies. Dans le second cas, après qu'ait été payée la taxe de pâture au dioro (le maître des pâturages) les troupeaux de bovins transhumants empiètent souvent sur les zones cultivées (on se rappelle de la « descente » des rizières). De grands dommages ont alors été causés dans les rizières des deux villages. L'implication de l'administration publique et des autorités traditionnelles a fait taire temporairement ces conflits, tranchés par le dioro en faveur des éleveurs.

34 Aujourd'hui, la décentralisation, qui donne des pouvoirs administratifs aux communes, suscite des craintes auprès des paysans de Saré Mama, qui se trouvent dans une commune à majorité peule. Bien que la solution se trouve probablement dans un processus de négociation qui implique l'ensemble des protagonistes, les différentes parties ont adopté des mesures pour gérer leur problème commun : les riziculteurs adoptent des variétés hâtives pour terminer la récolte avant l'arrivée des troupeaux transhumants et acceptent leur passage sur une partie délimitée du territoire. De leur côté, les éleveurs des troupeaux transhumants acceptent de suivre ces passages. Cependant, cette solution est régulièrement l'occasion d'altercations entre bergers et riziculteurs.

35 Pour résoudre le déficit d'équipement agricole, les paysans procèdent à des échanges de temps de travail ou à la location de matériel. L'entraide, qui était autrefois l'un des principes fondamentaux de la communauté rurale, se réduit de plus en plus au cercle familial. Des paysans non équipés échangent alors leur force de travail ou du riz contre des journées de mise à disposition de l'équipement nécessaire. D'autres paient le labour de leurs parcelles à raison de 15 à 20 000 F CFA par hectare, selon que le champ est proche ou lointain du village. Ce montant couvre la location de matériel, la main d'œuvre (deux à trois personnes) que doit fournir obligatoirement le propriétaire du matériel, une charrue et deux à trois bœufs de labour, le troisième bœuf servant de remplaçant. Cette formule s'applique surtout à la location du matériel dans un autre village. Il peut y avoir négociation si le paysan détient un bœuf ou une bonne charrue et décide de fournir la main d'œuvre. Ce cas se constate généralement entre paysans du même village. La main d'œuvre extérieure est surtout sollicitée pour la récolte, le battage et le transport du riz. Elle est généralement assurée par des familles bellas venant des zones sèches dont les familles sont rattachées directement ou indirectement aux familles autochtones. Des associations de femmes et de jeunes du village participent aux travaux. Les gains sont versés dans les caisses de ces associations.

36 L'importance de la mobilité dans le delta se confirme à l'échelle de la petite région étudiée. Les villages de Batamani et Saré Mama ont accueilli 400 migrants en 1998/1999, soit presque un tiers de leur population. Presque autant d'habitants (370) des mêmes villages étaient partis en exode en 1999, pour la pêche, pour la récolte des cultures sèches ou dans les grandes villes de Bamako, Abidjan, Bouaké. Cette mobilité permet de mieux occuper l'espace deltaïque en compensant les irrégularités hydroclimatiques et les problèmes intra et inter-communautaires. Elle traduit la grande diversité des activités professionnelles. Les séjours en ville permettent de gagner de l'argent pour faire face à des investissements importants : un jeune riziculteur est ainsi encouragé à partir en ville pour « gagner sa charrue ». Le nombre de personnes que la communauté familiale envoie temporairement ailleurs est donc variable puisqu'il dépend de l'état des ressources. Une mauvaise année d'inondation et de pluviométrie peut entraîner un départ plus important des jeunes. Cependant, l'attrait d'une ville comme Abidjan est beaucoup moins en vogue depuis les problèmes économiques de la Côte d'Ivoire.

37 Enfin, notons que la destruction et la restructuration des grandes communautés familiales, suite au décès du chef de ménage ou à la difficulté de gérer une famille élargie, amènent les familles à réorganiser la gestion de leur patrimoine foncier en admettant des acteurs de décision multiples et autonomes sur le même espace. La notion de famille, toujours présente, favorise une distribution équitable de l'espace agricole et chaque chef de ménage aura droit à un champ dans les différentes zones d'exploitation (haute, moyenne et basse), ce qui explique la dispersion spatiale des parcelles des ménages. D'autres causes de redistribution sont la distance au village, la fertilité des parcelles et la fonction des parcelles. Les champs proches du village, appelés « champs – greniers », assurent la production de riz précoce pendant la période de soudure. Un champ-grenier sécurise la consommation de la famille tout comme le grenier dans la concession. Ce sont des parcelles de petite dimension, mais bien soignées et fertilisées grâce au parcage des animaux après la récolte. On y prélève au fur et à mesure des besoins de la famille. Les grands champs cultivés par les familles pour le gros de la consommation familiale et éventuellement pour les échanges (troc, vente) sont récoltés plus tard. Les champs lointains, situés à la limite du terroir villageois, ne sont l'objet d'aucune redistribution et constituent une réserve de terre pour la famille. Ces champs connaissent souvent de très longues jachères.

Impact des stratégies sur les itinéraires techniques et la production

38 Les stratégies des riziculteurs, issues de leur connaissance du milieu et de leur expérience, leur ont permis de vaincre les singularités de leur environnement et de produire du riz. Les décisions sont prises avant et pendant la campagne agricole, elles ont des conséquences sur les itinéraires techniques et elles évoluent en fonction des variations hydroclimatiques et de la morphologie du milieu, ainsi que du contexte économique. Les paysans sont donc amenés à modifier leurs itinéraires techniques pour éviter les contraintes liées au milieu bio-physique et aux événements socio – économiques. On peut prendre l'exemple des agro-pêcheurs bozos de Batamani. La lucrative pêche de décrue leur permet de réduire la surface à cultiver par ménage et de choisir les variétés hâtives afin de terminer la récolte plus tôt et de préparer la campagne de pêche. Ceci a pour conséquence de raccourcir la campagne agricole, induisant une baisse de la production de riz (tableau 6). Ce choix, qui n'est pas forcément compréhensible si on n'analyse que la filière rizicole, est tout à fait logique si on prend en compte l'ensemble des activités de production.

39 En ce qui concerne les ethnies d'agriculteurs (Chérif et Rimaïbé), les stratégies développées dépendent très largement d'indicateurs empiriques de type agronomique, astronomique, météorologique ou hydrologique. Ces indicateurs sont construits à partir des expériences vécues accumulées au cours des temps suite aux changements permanents du milieu. Ainsi, le calendrier solaire fonction de la position des étoiles permet de fixer les dates des opérations techniques comme le labour, le semis, le désherbage, l'irrigation et la récolte. Les indicateurs météorologiques et hydrologiques permettent également de préciser les périodes de brûlis, de semis et de maturation du riz. En effet, les cultivateurs jouent souvent sur la corrélation entre pluie locale et importance de la crue pour définir la superficie à semer et le choix des parcelles. Par exemple, une mauvaise pluviosité en début de campagne conduit les paysans à descendre dans les zones basses pour y cultiver du riz. Par ailleurs, les indicateurs biologiques, notamment

certaines espèces de poissons, informent sur l'état de la crue ou de la décrue, et aident ainsi les paysans à prendre aussi des décisions sur le calendrier de certaines opérations techniques. Enfin, le rendement de l'année précédente, la couleur du sol, les espèces dominantes d'herbacées, d'insectes et de vers de terre peuvent aussi constituer des indicateurs agronomiques qui influencent le choix des parcelles à mettre en culture.

40 En dépit de la superposition des productions sur le même espace et de la complémentarité entre les groupes ethniques résidents, les résultats d'enquête confirment que la distinction dans le parcours professionnel et résidentiel des différentes ethnies persiste. Les Bozos, qui ont comme activité principale la pêche, les Chérifs et les Rimaïbés, qui ont comme activité principale la riziculture, font des choix stratégiques différents :

- les Chérifs et les Rimaïbés sont mieux équipés et investissent davantage dans l'agriculture que les Bozos ; en revanche, les Bozos sont mieux équipés en engins de pêche ;
- les Chérifs, Markas et Rimaïbés ont plus investi dans des bœufs de labour et font davantage appel à la main-d'œuvre extérieure ;
- le rapport entre superficie cultivée et superficie disponible est plus élevé pour les ménages chérifs, markas et rimaïbés que pour les ménages bozos ;
- la superficie cultivée par les Chérifs et les Markas est beaucoup plus élevée que la superficie cultivée par les Bozos ; la superficie cultivée par les Rimaïbés est très peu importante en raison de l'aide qu'ils apportent sur les parcelles des Peuls ;
- les Bozos cultivent davantage les variétés hâtives afin de préparer la campagne de pêche de décrue.

Conclusion

41 La riziculture est une activité importante pour la presque totalité de la population des villages de Saré Mama et de Batamani : 80 % des ménages possèdent 5 hectares ou plus. Cependant, la riziculture n'est jamais la seule activité professionnelle d'un ménage : 86 % de ceux qui ont comme activité principale la riziculture, pratiquent également la pêche ; et inversement les ménages ayant comme activité principale la pêche ou l'élevage pratiquent en large majorité la riziculture (plus de 90 %). Enfin, presque tous les ménages possèdent des bovins, ovins ou caprins.

42 La démographie croissante, les difficultés liées à la sécheresse, la diffusion de la charrue se sont accompagnées d'une augmentation des superficies mises en culture. Cela se traduit, d'une part, par une compétition accrue avec le système d'élevage transhumant et le système de pêche sur mare et, d'autre part, par une diminution de la durée des jachères nécessaires à la reconstitution de la fertilité du milieu. Cette pression sur le milieu engendre une pression sur les sociétés, qui ont alors recours aux pouvoirs traditionnels et parfois à l'administration étatique pour la négociation et l'attribution de l'usage des ressources naturelles. Les choix stratégiques des riziculteurs sont basés sur leur très longue expérience du milieu et diffèrent selon leur appartenance socioculturelle. Ces choix stratégiques ont un impact considérable sur la production de riz.

43 Par exemple, les Bozos investissent moins dans l'équipement agricole que les Chérifs mais possèdent de loin le plus grand nombre d'engins de pêche ; ils choisissent de cultiver des variétés de riz hâtives avec moins de main d'œuvre extra-familiale sur des surfaces plus réduites afin de pratiquer la lucrative pêche de décrue. En conséquence, la production de riz par ménage des Bozos est moitié de celle des Chérifs ou des Rimaïbés. Mais le parcours professionnel et résidentiel de tous les habitants est caractérisé par une très grande

mobilité : un tiers de la population totale quitte la zone pendant plusieurs mois dans l'année pour pratiquer la pêche, pour participer à la récolte des céréales sèches ou pour trouver des emplois en ville. Une proportion équivalente se rend dans la zone comme main d'œuvre pour la récolte de riz.

44 Enfin, contrairement à ce qui se produit en agriculture sédentarisée, les riziculteurs du delta choisissent les parcelles en fonction des conditions hydroclimatiques. Cette flexibilité entre zones hautes, moyennes et basses, basée sur la façon dont ils anticipent la campagne à venir, permet de mieux occuper l'ensemble de l'espace deltaïque, les liens de parenté permettant l'accès à des terres, qui ne relèvent pas de leur propre village.

Remerciements

45 Nous tenons à remercier les enquêteurs agricoles du Centre régional de recherche agronomique (CRRA) de Mopti, Samba Kelly et Mamadou Téréta, qui nous ont aidés pour la réalisation des enquêtes de terrain. Nous remercions aussi pour ses conseils Amadou Kodio, de l'Institut d'économie rurale (IER) du CRRA de Mopti. L'étude a été financée par l'IRD (programme Gihrex) et par le Gip-Hydrosystèmes (ministère de la Recherche, Paris).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Breman H., Ridder N. (de), 1991 – *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens.* ACCT/CABO-DLO/CTA, Wageningen, Pays-Bas ; Paris, Karthala, 485 p.

Bricquet J.-P., Mahé G., Bamba F., Olivry J.-C, 1996 – Changements climatiques récents et modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Koulikoro (Mali). *IAHS Publ.,* 238 : 157-166.

Gallais J., 1984 – *Hommes du Sahel, espaces-temps et pouvoirs, le delta intérieur du Niger, 1960-1980.* Paris, Flammarion, 289 p.

Fay C, 1994 – « Organisation sociale et culturelle de la production de pêche : morphologie et grandes mutations ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 191-207.

Kassibo B., 1994 – « Histoire du peuplement humain ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 81-97.

Kelly S., Kuper M, Marieu B., 1998 – *Delta intérieur du Niger (amont) : hydrologie et agronomie, 10-23 novembre 1998.* Rapport de mission Gihrex, RM11, IRD, Bamako, Mali, 19 p.

Kuper M., Maïga H., 2000 – *Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Études et rapports Gihrex, ER52, IRD, Bamako, Mali, 39 p.

Maïga O., Kuper M., Gosse B., 2000 – *Stratégies des agriculteurs autour de la mare de Batamani.* Études et rapports Gihrex, ER58, IRD, Bamako, Mali, 43 p.

Marieu B., 2000 – *Etude hydrologique de la mare de Batamani (cercle de Kona, région de Mopti), année hydrologique 1998-1999.* Études et rapports Gihrex, ER46, IRD, Bamako, Mali, 28 p.

Poncet Y., 1999 – « Une lecture temporelle de la pêche au Mali ». *In* Poncet Y. (éd.) : *Les temps du Sahel,* Paris, IRD : 81-108.

Quensière J. (éd.), 1994 – *La pêche dans le delta central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Rousseau C., 1998 – *Le système de production halieutique du terroir de Batamani (delta intérieur du Niger) : préconception d'un modèle intégré de fonctionnement.* Mémoire de DAA, Ensa Rennes, France ; Mémoires Gihrex, M24, IRD, Bamako, Mali, 107 p.

NOTES

1. Orange D., Mahé G., Dembélé L., Kuper M., Diakité H., Olivry J.-C. ce volume – « Hydrologie, agro-écologie et superficies d'inondation dans le delta intérieur du Niger ». *In : partie 2.*
2. La région de Batamani, Saré Marna, Sensé, sur la rive droite et sur la rive gauche du fleuve, était déjà habitée au temps des *ardubé,* puis des chefferies marka du Korondugu-Borondugu, c'est-à-dire bien avant la Dina de Sékou Amadou (Kassibo, 1994).
3. Quand le *Futa* razziait et tuait les populations du delta, les familles habitant Bogo et Sabaï, deux villages d'accès difficile pour les ravisseurs, venaient semer puis récolter le riz en hâte dans la plaine de Saré Marna, très fertile et où l'eau ne manquait pas. Le *Futa* désigne l'empire toucouleur d'EI Hadj Omar qui a renversé la Dina en 1863 et qui a disparu en 1893 avec la prise de Ségou par les Français.
4. Et notamment ceux de Batamani et de Saré Marna.

AUTEURS

OUSMANE MAÏGA

Géographe. IRD, BP 2528, Bamako, Mali,

MARCEL KUPER

Agronome. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France,

BÉNÉDICTE GOSSE-HEALY

Agronome. Scac, Ambassade de France, BP 94, Bamako, Mali,

La décentralisation et les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans le delta intérieur du Niger

William G. Moseley, Julia A. Earl et Lassine Diarra

1 Beaucoup d'écrits concernant la *gestion communautaire des ressources naturelles* (GCRN) affirment que le contrôle local des décisions d'utilisation des terres mène à une agriculture et à un régime de gestion des ressources naturelles plus durables. Cette littérature s'est également intéressée dans une moindre mesure à la question de savoir comment le fonctionnement des systèmes de subsistance à différentes échelles sera coordonné dans le schéma GCRN. La république du Mali est largement engagée dans un processus de décentralisation qui octroie la majorité des pouvoirs de prise de décisions concernant les terres aux élus locaux. Ce document examine les implications de ce changement de pouvoir dans une commune à la lisière du delta intérieur du fleuve Niger au Mali à partir d'un conflit entre agriculteurs et éleveurs. Trois questions de recherche sont traitées. Quelle est la dynamique actuelle entre les agriculteurs et les éleveurs ? Quel impact pourrait avoir le contrôle décentralisé sur les communautés agricoles et pastorales qui opèrent à différentes échelles spatiales ? Quels sont les politiques et programmes potentiels qui pourraient réduire les conflits entre les agriculteurs et les éleveurs sous la nouvelle politique de décentralisation du gouvernement malien ?

2 Les résultats présentés dans ce document font partie d'un projet connu sous le nom de *Programme d'appui à la recherche agricole et à la gestion des ressources naturelles durables* (Sanrem-CRSP[1]). La mission du Sanrem-CRSP est d'appuyer les décideurs pour la gestion des ressources naturelles en apportant des informations, des outils de gestion de l'information et le développement de compétences, afin de promouvoir l'agriculture durable et la gestion des ressources naturelles. Cette recherche fait partie d'un programme d'évaluation des priorités des décideurs au Mali, aux Philippines et en Équateur (Earl, 1999 ; Moseley, 1999 ; Neely et Buenavista, 1999). L'évaluation interroge les multiples acteurs (depuis les paysans jusqu'aux décideurs politiques internationaux) sur les problèmes et les contraintes de gestion des ressources naturelles et sur les solutions qu'ils proposent pour résoudre ces problèmes. Cette activité d'évaluation,

effectuée du point de vue des « demandeurs », informera par la suite les autres activités d'appui à la décision conçues pour fournir des informations, des outils et de la formation.

3 L'analyse présentée ici est basée sur les informations collectées à partir d'entretiens semi-structurés (Patton, 1990) effectués en août 1999, aussi bien que sur un examen de la littérature grise et de la littérature publiée. Les entretiens au niveau local ont utilisé certaines techniques de la *méthode accélérée de recherche participative* (Marp), notamment les classements matriciels[2] et la carte des ressources naturelles (Chambers, 1991). Trente-quatre entretiens au total ont été faits aux niveaux : local (commune de Madiama), du cercle (Djenné), régional (Mopti) et national (Bamako). La commune de Madiama a été sélectionnée à cause de sa grande diversité sociale et écologique, son passé de conflits entre éleveurs et agriculteurs et la dégradation élevée de ses ressources naturelles. Elle couvre une superficie de 17 000 ha et compte une population de 10 000 habitants environ (recensement de 1998) pour dix villages. Située sur la bordure du delta intérieur du fleuve Niger, une partie de son territoire s'étend à l'intérieur de la zone saisonnièrement inondée.

Méthode

4 On a effectué à la fois des entretiens de groupes et des entretiens individuels, en français, en bambara ou en fulfuldé. Les interlocuteurs furent les représentants locaux nouvellement élus (les maires communaux) au niveau communal, des administrateurs gouvernementaux et des agents techniques au niveau du cercle, des représentants des agences administratives et techniques au niveau régional, des directeurs de cabinet des ministres et des responsables d'ONG au niveau national. Un protocole commun a été utilisé par l'enquêteur comme ébauche de guide durant l'enquête, bien que l'ordre réel et le contenu spécifique des questions aient varié. Bien que la durée de l'enquête ait été limitée, ses résultats ont une valeur de repère puisqu'ils restituent des informations saisies au tout début du processus de décentralisation.

5 La majeure partie de la littérature sur la décentralisation au Mali, par exemple celle du comité de coordination des ONG au Mali (CCA-ONG, 1997), aussi bien qu'une large littérature concernant la gestion commune des ressources naturelles affirment que le contrôle local conduit à la gestion améliorée des ressources naturelles.

6 La gestion communautaire des ressources naturelles – ou encore « gestion de terroir », son équivalent en Afrique de l'Ouest francophone – est devenue l'approche innovante de la gestion des ressources naturelles au Mali, suivant par là les recommandations de la « Table ronde de Ségou » en 1989 entre le gouvernement, les bailleurs de fonds et les ONG (Shaikh, 1989 ; Thomson *et al.*, 1989 ; Painter, 1993 ; Lewis, 1995). Cette approche cherchait à appliquer un paradigme de développement centré à la base sur les personnes (Chambers, 1994). Selon Turner (1999), « en Afrique occidentale soudano-sahélienne, l'approche "gestion de terroir" tente souvent d'améliorer la gestion des ressources naturelles en délimitant dans l'espace les usages appropriés de la terre, en renforçant les pouvoirs exclusifs communautaires et en éclairant les revendications spécifiques aux ressources villageoises ».

7 La politique de décentralisation de la république du Mali nouvellement mise en œuvre est basée sur cette approche gestion de terroir (Painter, 1993 ; Lewis, 1995). Benjaminsen (1997) note qu'elle semble prometteuse pour le Mali-Sud où l'agriculture domine et où les

terroirs villageois sont assez bien définis. Cependant, plusieurs chercheurs se sont montrés critiques à l'égard de cette gestion communautaire des ressources naturelles lorsqu'elle est appliquée aux communautés pastorales.

8 Marty (1993) et Painter *et al.* (1994) suggèrent que l'approche terroir ne convient pas aux zones pastorales parce qu'elle est basée sur une délimitation de l'espace, lequel n'est pas habituellement approprié dans un contexte pastoral : les éleveurs ont besoin de flexibilité et de mobilité pour utiliser de façon durable des ressources dispersées (Behnke *et al.*, 1993). Turner (1999) affirme que « l'adhésion rigide à de tels modèles de développement court le risque d'accroître les vulnérabilités écologiques et économiques locales ». Leach *et al.* (1999) est critique à l'égard de la gestion communautaire des ressources naturelles parce qu'elle ignore les dynamiques intra-communautaires et l'hétérogénéité écologique. Benjaminsen (1997) conclut que la décentralisation basée sur l'approche « gestion de terroir » fera plus de mal que de bien dans les zones pastorales.

9 L'étude que nous présentons ici contribue à la réflexion sur la gestion communautaire des ressources naturelles et la décentralisation de trois manières :

- elle examine comment la nouvelle politique malienne de décentralisation peut avoir un impact sur les conflits déjà existants entre éleveurs et agriculteurs[3] dans l'une des zones les plus variées écologiquement et culturellement de l'Afrique de l'Ouest : le delta intérieur du Niger et les terres sèches environnantes ;
- elle explore les implications que les échelles spatiales des systèmes de production ont sur la gestion communautaire des ressources naturelles et sur la politique de décentralisation ;
- elle discute comment la gestion communautaire des ressources naturelles conventionnelle ne peut pas être politiquement neutre dans des lieux socialement et écologiquement complexes, parce que sa mise en œuvre non nuancée tend à favoriser certains groupes sociaux par rapport à d'autres.

Les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la commune de Madiama

10 Ce chapitre aborde la première question concernant la dynamique actuelle des rapports entre cultivateurs et éleveurs dans la commune de Madiama et les zones environnantes. Les conflits entre ces deux groupes professionnels ne sont pas un sujet sans importance au Mali : lorsqu'on a demandé aux représentants gouvernementaux et non-gouvernementaux de décrire et de classer les défis les plus pressants de la gestion des ressources naturelles au Mali, les conflits entre éleveurs et agriculteurs ont été le plus souvent mentionnés et ont été placés en tête du classement des problèmes (Moseley, 1999).

11 La majeure partie des résidents de la commune de Madiama sont des paysans cultivateurs bambaras ou markas (tableau 1). Et les éleveurs peuls constituent une minorité[4] importante (Sanrem-CRSP, 1999).

Tableau 1. Activités principales des habitants de la commune de Madiama (étude basée sur un échantillon de 117 ménages).

Activités	Agriculture	Agro-élevage	Elevage sédentaire	Elevage transhumant	Artisanat
Pourcentage	68,8 %	6,6 %	16,1 %	6,5 %	2,1 %

Source : CRRA Mopti et Virginia Tech. (2000), enquête socio-économique.

12 La distinction entre éleveurs et agriculteurs n'est pas nette car beaucoup de cultivateurs élèvent des animaux et la plupart des éleveurs pratiquent l'agriculture. Les Peuls, traditionnellement éleveurs, sont divisés en deux groupes, les sédentaires et ceux qui partent en transhumance pendant une partie de l'année. Le bétail possédé localement est aussi constitué de deux groupes, une partie reste dans la commune de Madiama pendant toute l'année (vaches laitières et animaux de trait), l'autre partie séjourne hors de la commune pendant la majeure partie de l'année.

13 Chaque année, la majeure partie du bétail local ainsi que le bétail transhumant passent la saison sèche (décembre à juin) dans le delta, au nord et à l'ouest de la commune, où le bourgou[5] pousse en abondance (tableau 2). Pendant le séjour de leurs troupeaux dans le delta, les éleveurs doivent payer un droit d'usage (une jeune vache, soit environ 50 000 F CFA) au propriétaire traditionnel (le dioro) du pâturage. Les éleveurs et le bétail quittent le delta en juin ou juillet, dès que les pluies commencent. Ils traversent alors la région de la commune de Madiama, en route vers les zones les moins peuplées du cercle de Tominian (au sud et à l'est de Madiama) et même du Burkina Faso. Quelques conflits mineurs entre éleveurs et agriculteurs peuvent se produire à cette période de l'année ; et leur nombre limité est dû en grande partie au fait que la plupart des cultures n'ont pas encore été semées, laissant un espace adéquat pour le passage des animaux.

14 Dès qu'il cesse de pleuvoir dans les aires sèches et que les pâtures y sont épuisées, les éleveurs entreprennent le retour dans le delta. Chaque année, le gouvernement et les communautés bordant le delta (telles que Madiama) fixent une date, habituellement en novembre, à partir de laquelle les troupeaux peuvent commencer à parcourir les passages de bétail en direction du delta. Cette date est prévue pour correspondre à la fin des récoltes dans les communautés bordières, ainsi qu'à la fin des bonnes conditions de pâturage dans les terres sèches. C'est durant cette période du passage des troupeaux (novembre et décembre) que la majorité des conflits entre agriculteurs et éleveurs éclatent, lorsque le bétail d'un éleveur broute ou piétine les récoltes d'un agriculteur. La sanction pour les dégâts dépend du calendrier des autorisations de passage et du moment d'achèvement de la récolte, à laquelle chaque agriculteur est supposé se conformer. Avant la décentralisation, ce type de conflits étaient résolus par une rencontre entre les représentants des éleveurs et le chef de village (en même temps représentant des agriculteurs dans la plupart des cas). Si le problème ne pouvait pas être résolu par ce moyen, il était amené devant l'autorité administrative représentée au niveau local par le chef d'arrondissement. Si l'administration était incapable de trancher, la dispute pouvait être introduite dans le système judiciaire au niveau du cercle.

Tableau 2. Activités saisonnières et risques de conflits entre éleveurs et agriculteurs.

Activités / *Conflits*	Déc.-Juin saison sèche	Juin-Juillet début des pluies	Juillet-Nov. saison des pluies	Nov.-Déc. saison sèche
Eleveurs transhumants	pâturage dans le delta	déplacement vers les terres sèches	pâturage dans les terres sèches	déplacement des terres sèches vers le delta
Agriculteurs	morte-saison agricole	labours et semis	activités agricoles intenses	récolte
Risques de conflits	*faibles*	*modérés*	*faibles*	*élevés*

15 Plusieurs facteurs sociaux et environnementaux ont été cités par les interlocuteurs comme causes d'accroissement des conflits entre agriculteurs et éleveurs. Lors des années de faible pluviométrie, les éleveurs sont souvent très désireux de retourner le plus tôt possible dans le delta puisque les pâturages des terres sèches sont moins abondants et diminuent plus tôt. Les tentatives pour faire avancer la date de leur passage auraient été courantes au temps de la présidence de Moussa Traoré (1968-1991) : les cultivateurs signalent que les éleveurs corrompaient les vétérinaires du service de l'élevage pour obtenir du chef d'arrondissement de faire avancer la date de passage des animaux pour raisons sanitaires. Transgresser les dates en faveur des passages précoces conduit à une plus grande probabilité de conflits avec les agriculteurs, qui n'ont pas eu le temps de récolter et de stocker les céréales. Mais les agriculteurs peuvent aussi tarder à rentrer leurs récoltes, notamment quand les pluies commencent tard (culture du mil dans les terres sèches) ou quand l'inondation commence tard (culture du riz dans la zone inondée), ce qui dans les deux cas repousse d'autant la date des récoltes.

16 Les facteurs hydrologiques ont aussi contribué à réduire la superficie inondée : la baisse de la pluviométrie (à la fois sur le plan local et dans le bassin hydrographique en amont du fleuve) en est partiellement la cause. Les barrages de Sélingué (source d'électricité pour Bamako) et de Markala (qui alimente les périmètres rizicoles irrigués autour de Niono, au nord de Ségou), qui sont situés tous deux en amont du delta, sont cités comme influençant l'étendue et la durée des crues saisonnières dans le delta (Moorehead, 1991). Il y a donc concurrence entre la riziculture et l'utilisation des terres comme pâturage, pour une ressource de plus en plus rare (ici, les terres inondées de façon saisonnière).

17 La pression démographique et la diminution progressive de la fertilité naturelle des sols[6] ont aussi amené les agriculteurs à cultiver des superficies croissantes, la tendance étant de s'étendre sur les voies de passage du bétail qui avaient été réglementées au XIX[e] siècle durant la Dina[7] de Sékou Amadou (Maïga et Diallo, 1998). Les éleveurs s'en plaignent puisqu'ils ne peuvent alors éviter de causer des dégâts aux récoltes, car il n'y a plus de couloirs réservés.

18 Le résultat de toutes ces pressions est que les troupeaux des éleveurs sont de plus en plus souvent refoulés et entassés entre octobre et décembre dans les zones bordant le delta en attendant d'y entrer. Ce blocage a conduit à un nombre croissant de conflits (Blench, 1997 ; Maiga et Diallo, 1998 ; Moore *et al.*, 1999), allant jusqu'à des pertes en vies humaines dans certaines zones de la région de Mopti. Maïga et Diallo (1998) ont décrit un conflit à Konio en 1994, qui a fait huit morts et vingt et un blessés. En juillet 1999, six personnes ont été tuées à Mondoro (cercle de Douentza) dans un conflit foncier opposant Dogons

(peuple cultivateur) et Peuls. Dans le delta, Cissé (1996) rapporte que 42 % des conflits se produisent entre éleveurs et cultivateurs. Tous ces conflits entraînent un coût potentiel non négligeable lié à la réduction du cheptel et de la production céréalière. Ainsi, la production céréalière est diminuée à cause de sa destruction par le bétail aussi bien que par le faible rendement dû à l'intégration limitée de l'élevage et de l'agriculture[8] ; et la baisse de rendement du cheptel est directement liée à la diminution puis l'appauvrissement des pâturages. Il est important de noter qu'en 1998 le bétail était la deuxième exportation du Mali (Economist Intelligence Unit, 1998), pays ayant un avantage sur ses voisins côtiers dans la production de viande. Cet avantage a été soutenu par la dévaluation du franc CFA en 1994, qui a rendu compétitive en termes de prix l'exportation de bétail sahélien vers les villes côtières de l'Afrique de l'Ouest devant le bœuf européen importé (Insah, 1998). Améliorer les relations entre agriculteurs et éleveurs a donc d'importantes implications en termes de vies humaines, de sécurité alimentaire et de richesse économique.

La décentralisation et les échelles des systèmes de production

19 Ce chapitre aborde la seconde question de notre recherche : de quelle manière la politique de décentralisation du Mali peut influencer les communautés agricoles et pastorales qui opèrent à différentes échelles spatiales ?

20 La politique de décentralisation du Mali transfère aux élus locaux le pouvoir qui avait été auparavant entre les mains des administrateurs coloniaux puis entre ceux de l'Etat indépendant. Plus spécifiquement, l'article 72 du Code des Collectivités (loi 95-034) stipule que les élus locaux seront nécessairement impliqués dans l'organisation des activités agricoles, dans l'installation et la gestion des équipements, dans le développement et l'application des plans d'utilisation de la terre, dans la protection de l'environnement et dans l'arbitrage des conflits fonciers. La loi exige la consultation des gestionnaires traditionnels par le conseil communal avant toute prise de décision.

21 Les perspectives pour les cultivateurs et les éleveurs au niveau communal ont été explorées à travers les entretiens. Les discussions avec les représentants nouvellement élus à Madiama (où 10 des 11 représentants sont des cultivateurs), en août 1999, montraient qu'ils pensaient que les intérêts des cultivateurs prévaudraient sous le nouveau système. Certains représentants ont même suggéré qu'on pourrait exclure les éleveurs de l'utilisation de l'espace communal. Les entretiens avec les éleveurs ont montré qu'ils pensaient que les nouveaux représentants élus trancheraient en faveur des cultivateurs les disputes foncières et les conflits entre agriculteurs et éleveurs. La plupart des familles d'éleveurs interrogées semblaient avoir une connaissance très limitée du processus de décentralisation et de ses implications potentielles. L'opinion locale, à savoir que la politique de décentralisation favorisera les paysans, confirme celle des chercheurs qui ont critiqué l'application inflexible aux communautés pastorales de la gestion communautaire des ressources naturelles (Marty, 1993 ; Painter *et al.*, 1994 ; Benjaminsen, 1997 ; Turner, 1999 ; Leach *et al.*, 1999). Le service gouvernemental créé pour superviser le processus de décentralisation a indiqué que les communes devraient respecter les droits des minorités pour le développement des plans d'utilisation des terres et l'arbitrage des conflits fonciers. Or très peu de représentants élus interrogés dans la commune de

Madiama reconnaissaient ou étaient conscients des droits des minorités. La reconnaissance de ces droits irait probablement à rencontre de l'intérêt personnel des représentants (appartenant aux groupes majoritaires). Dans la commune de Madiama, peu ou pas de formations sur ce sujet avaient été faites avant août 1999[9]. Au cas où les représentants communaux se comporteraient de manière injuste, il serait théoriquement possible de porter la question devant un représentant du système judiciaire au niveau du cercle[10].

22 Cependant, les inégalités de pouvoir au niveau local peuvent empêcher que cela n'arrive.

23 L'un des problèmes majeurs pour les planificateurs de la décentralisation est la disparité spatiale entre l'agriculture, normalement gérée au niveau local, le pastoralisme transhumant et la pêche, qui peuvent exiger la gestion à une échelle spatiale plus large. La gestion communautaire des ressources naturelles et la politique de décentralisation ont été conçues à une seule échelle, l'échelle locale, qui est celle de la production agricole dans la plupart des communautés paysannes du Mali.

24 Le delta intérieur du Niger présente cependant des particularités, puisqu'il est occupé par plusieurs systèmes de production différents qui opèrent à des échelles spatiales et temporelles différentes (Moorehead, 1991 ; Davies, 1996). Ici, « les cultures humaines ont grandi autour de l'exploitation de certaines niches écologiques... On rencontre de multiples groupes ethniques spécialisés, coexistant sur le même espace : agriculteurs, pasteurs, agro-pasteurs, pêcheurs et agro-pêcheurs » (Moseley, 1995). Le gouvernement et la mission de décentralisation du Mali reconnaissent que subsistent des problèmes non résolus, liés à l'application de la politique de décentralisation au système pastoral. Une réponse donnée par le gouvernement est l'élaboration d'une charte pastorale qui définira les principes organisationnels de base du secteur de l'élevage. Ces principes, qui ont été votés par l'Assemblée nationale au début de 2001, devront pourtant être incorporés dans les plans d'aménagement aux niveaux de la région, du cercle et de la commune. La charte pastorale prévoit des organes de régulation, et les schémas d'aménagement prennent en compte les espaces pastoraux. Mais leurs effets seront réduits en attendant que les représentants élus mettent en application la charte, et que les communes aient leurs propres plans d'aménagement.

25 Si l'application de la politique de décentralisation favorise un groupe par rapport à un autre, le programme de réforme n'est donc pas aussi impartial que beaucoup l'avaient annoncé (CCA-ONG, 1997). Deux perspectives différentes sur la politique d'utilisation de la terre et le pouvoir politique local sont exprimées par McCowen *et al.* (1979) et Basset (1988). En passant en revue les interactions entre paysans et éleveurs en Afrique semi-aride, McCowen *et al.* (1979) ont conclu que « le pouvoir politique local *("relative political power")* détermine probablement le mode d'utilisation de la terre ». En étudiant les éleveurs et les cultivateurs du nord de la Côte d'Ivoire, Basset (1988) a constaté que les minorités (telles que les Peuls) pourraient jouir de certains droits politiques et de droits économiques si l'État centralise les contrôles, et s'il y a des raisons politiques et économiques d'encourager l'élevage. Dans le cas de Madiama, les enquêtes locales suggèrent qu'une décentralisation du pouvoir et un retour au contrôle local impliquent que le groupe majoritaire, les cultivateurs, domineraient la planification foncière et la résolution des conflits, à moins que des institutions ne soient créées pour modérer le pouvoir des cultivateurs.

Une politique et des options pour réduire les conflits

26 Nous abordons ici la troisième et dernière question de l'étude de la commune de Madiama, concernant les politiques et les options possibles pour réduire les conflits entre cultivateurs et éleveurs sous le nouveau régime décentralisé du Mali.

27 Comme d'autres auteurs l'ont suggéré (par exemple : Turner, 1999 ; Leech *et al.*, 1999), une forme de gestion communautaire des ressources naturelles plus flexible ou hybride est nécessaire dans les zones telles que le delta, où des systèmes multiples de production opèrent à des échelles multiples. Les composantes de base de cette gestion hybride seraient une combinaison équilibrée de planification foncière participative à des échelles multiples (village, commune, cercle et région) et de cadre institutionnel pour protéger les droits des minorités. La décentralisation du Mali a besoin d'une telle combinaison, qui inclurait d'une part les entités officielles élues au niveau des communautés territoriales (communes, cercles, régions), – lesquelles développeront les plans d'utilisation de la terre et arbitreront les conflits de concurrence sur la ressource et le cadre général de la charte pastorale –, d'autre part un système judiciaire qui protège les droits des minorités. Bien que la théorie paraisse solide et valide, l'application et la coordination de ces éléments différents semblent être une gageure. En effet, des obstacles sont déjà discernables : certains mécanismes sont à peine en voie d'application (la charte pastorale par exemple) tandis que d'autres fonctionnent depuis 1999 (les comités communaux)[11] ; les modes d'articulation des plans d'utilisation du sol développés aux différents niveaux (exemple, la commune et le cercle) ont besoin d'être précisés ; la plupart des acteurs participant aux nouvelles institutions décentralisées (les représentants communaux par exemple) pourraient bénéficier d'une meilleure information sur leur rôle et sur leurs responsabilités, ainsi que sur leurs relations avec d'autres acteurs de la prise de décision et avec le système juridique.

28 Des formations spécifiques et la diffusion d'informations devraient être envisagées afin de faciliter l'application d'une politique de décentralisation qui soit « sensible aux systèmes de production » et qui contribue à résoudre les conflits entre agriculteurs et éleveurs. Formations et informations pourraient être assurés par le gouvernement du Mali, les ONG, les bailleurs bilatéraux et multilatéraux ou une combinaison des trois. Lorsqu'ils ont été interrogés sur de tels besoins, nos interlocuteurs ont fait les quatre types de propositions qui suivent.

1. *Des formations à l'acquisition de compétences pour appuyer les communes dans le développement de leurs plans de gestion des ressources naturelles et d'utilisation des terres.* Ces plans ont été développés au Mali pour un nombre limité de communautés et de communes dans le cadre du « Projet de gestion des ressources naturelles » (PGRN) de la Banque mondiale (PGRN, non daté ; Banque mondiale, 1997). Leur réussite exige la pleine participation de tous les membres de la communauté, une expression claire des droits des minorités, la reconnaissance par tous que tout le monde gagne à la résolution des conflits d'usage des ressources et à la bonne gestion des concurrences. L'idée principale du plan d'utilisation des terres et des ressources naturelles est de désigner des parcelles de terre pour des usages spécifiques tels que l'agriculture, le pâturage, le passage des animaux, la pêche, etc., soit toute l'année, soit sur une base saisonnière.
2. *Des formations à l'acquisition de compétences pour appuyer les cercles et les régions dans l'identification des mécanismes d'interaction et dans le développement des plans de gestion et d'utilisation des terres et des ressources naturelles.* C'est à ces niveaux que des passages connexes

pour les animaux pourraient être décidés. Jusqu'ici, le mode d'interaction des plans d'utilisation des terres au niveau de la commune, du cercle et de la région n'est pas clair : alors que la plupart des plans seront « ascendants » et incorporés dans le plan du niveau supérieur, on suppose que certaines grandes directives seront, elles, « descendantes ».

3. *Une formation systématique destinée aux représentants élus des communes, des cercles et des régions pour la résolution des conflits fonciers et le respect des droits des populations minoritaires.* Les représentants nouvellement élus (les maires communaux) ont reçu peu de formation concernant la manière dont ils devront arbitrer les conflits fonciers. Une composante d'une telle formation pourrait être l'édition de brochures en langues locales et/ou en français donnant des réponses aux questions les plus fréquemment posées sur les conflits fonciers et l'utilisation des ressources. Une brochure pourrait être éditée à l'image de celle produite par Helvetas (ONG suisse qui travaille au Mali) concernant la décentralisation (Helvetas, non daté).
4. *Des efforts importants de vulgarisation agricole pour la gestion intégrée du bétail et des cultures.* Ceci impliquerait un travail avec les communautés de producteurs pour démontrer les avantages d'une telle intégration, qui serait mutuellement bénéfique aux agriculteurs et aux éleveurs en encourageant la perception que ces deux activités sont complémentaires plutôt que concurrentielles.

Conclusion

29 Nous avons examiné ici les implications de la politique de décentralisation du Mali dans une commune en bordure du delta intérieur du Niger pourvue d'un passé conflictuel entre les éleveurs et les agriculteurs. La sécheresse, et donc les faibles niveaux d'inondation dans les plaines, l'agriculture extensive et la pression démographique ont exacerbé ces conflits. Agriculteurs et éleveurs pensent que la planification foncière décentralisée et une résolution des conflits basée sur les ressources favoriseraient les agriculteurs puisqu'ils sont le groupe majoritaire dans cette commune. La planification foncière décentralisée basée sur la gestion communautaire des ressources naturelles apparaît alors comme un moyen de favoriser les usages qui peuvent être délimités dans l'espace commun, comme par exemple l'agriculture, et comme un moyen de défavoriser les usages saisonniers et flexibles tels que l'élevage transhumant et la pêche. En l'absence d'un cadre général opérationnel clairement défini et d'institutions de plus haut niveau qui protègent les populations minoritaires et gèrent les usages aux niveaux plus généraux, la gestion des ressources naturelles locales décentralisées aboutirait probablement à favoriser les paysans sur les éleveurs.

30 L'architecture conceptuelle de la politique de décentralisation du Mali est solide puisqu'elle fait appel à une combinaison de planification foncière participative à échelles multiples (villages, communes, cercles et régions) et à un cadre institutionnel pour protéger les droits des minorités. Cependant, l'application et la coordination de ces différents éléments posent actuellement des problèmes importants : la conception du cadre de certaines institutions et politiques n'est pas achevée alors que d'autres fonctionnent déjà ; l'interaction entre les plans développés à différents niveaux est encore ambiguë ; le rôle et le champ des responsabilités de la plupart des acteurs qui participent aux nouvelles institutions décentralisées ne sont pas encore entièrement connus ou compris, non plus que leurs relations avec les autres corps de prise de décision et avec les instances juridiques. Nous suggérons donc une contribution importante des acteurs à des formations et à la diffusion d'informations afin de faciliter l'application

d'une politique de décentralisation qui se doit d'être sensible jusqu'au niveau des systèmes de production, et donc permettre la résolution des concurrences.

Remerciements

31 La recherche présentée dans ce document a été financée par l'Agence américaine pour le développement international (USAID), contrat PCE-A-00-98-00019-00 et sous les auspices du "Sustainable agriculture and natural resource management collaborative research support program" (Sanrem-CRSP). Les opinions exprimées dans ce document sont entièrement celles des auteurs et ne représentent pas nécessairement celles de PUSAID, du Sanrem-CRSP, de l'IER ou de leurs partenaires. Nous voudrions remercier tous ceux qui ont participé à l'étude. Leur franchise et leur perspicacité ont été très appréciées. Nous voudrions aussi remercier Constance Neely du siège du Sanrem-CRSP qui a guidé la conceptualisation de cette étude et a fourni le soutien administratif. Gaoussou Traoré de l'Institut du Sahel nous a aussi aidés de ses conseils et de son soutien. Keith Moore du programme ouest-africain du Sanrem-CRSP est aussi cordialement remercié pour sa sympathie et son soutien durant la visite du premier auteur en août 1999 au Mali. Nous remercions Youchaou Traoré pour son assistance à la traduction de ce document ainsi que Yveline Poncet, Mike Bertelsen, Keith Moore et les trois relecteurs référents pour leurs commentaires sur les versions successives de cet article. Nous voudrions aussi exprimer notre gratitude à Cheickna Diakité de Care-Djenné et à Idrissa Diallo du Centre régional de recherche agronomique (CRRA) de Mopti qui ont aidé le premier auteur à organiser et à traduire certaines des interviews au niveau du village. Enfin, nous sommes reconnaissants à l'égard de Care-Mali et de Save the children fund (Royaume-Uni) pour leur soutien logistique.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Banque Mondiale, 1997 – *Partenariat Mali-Banque mondiale, 1997-1998.* Bureau de la Banque mondiale au Mali, Bamako.

Basset T. J., 1988-The political ecology of peasant-herder conflicts in the northern Ivory Coast. *Annals of the association of American Geographers,* 78 (3) : 453-472.

Behnke R. H., Scoones I., Kervin C. (éd.), 1993 – *Range ecology at disequilibrium : new models of natural variability and pastoral adaptation in African savannas.* London, Overseas Development Institute.

Benjaminsen T. A., 1997 – Natural resource management, paradigm shifts and the decentralization reform in Mali. *Human Ecology,* 25 (1) : 121-143.

Blench R., 1997 – Aspects of resource conflicts in semi-arid Africa. *Natural resource perspectives,* February.

CRRA Mopti, Virginia Tech., 2000 – *Enquête socio-économique de la commune de Madiama (région de Mopti, Mali).* Centre régional de recherche agronomique de Mopti, IER (Institut d'économie rurale), Mali.

Chambers R., 1991 – "Shortcut and participatory methods for gaining social information for projects". *In : Putting people first : sociological variables in rural development,* Washington D. C., World Bank, Oxford Univ. Press.

Chambers R., 1994 – *Paradigm shifts and the practice of participatory research and development.* Working Paper 2, Institute of development studies, University of Sussex.

Cissé S., 1996 – « Problématique foncière et litiges en Ve Région ». *In* Maïga I., Diallo G. (éd.) : *Atelier de restitution et de réflexion sur les litiges fonciers dans la Région de Mopti,* Bamako, novembre, Groupe de recherche actions pour le développement (GRAD) et International institute for environment and development (IIED).

CCA-ONG, 1997 – *Séminaire ONG et décentralisation : rapport de synthèse.* Mimeo, Bamako, Comité de coordination des ONG au Mali.

DaviesS., 1996 – *Adaptable livelihoods : coping with food insecurity in the Malian Sahel.* New York, St Martin's Press Inc.

Earl J., 1999 – *Decision maker needs assessment : pilot study for Mali.* Mimeo, Watkinsville GA, Sanrem-CRSP.

Economist Intelligence Unit, 1998 – *Country profile : Côte d'Ivoire – Mali, 1998-99.* London, The Economist Group.

Helvetas, sans date – *La décentralisation au Mali : 50 questions-réponses.* Mission de décentralisation et des réformes institutionnelles, Bamako, Coopération suisse au Mali.

Insah, 1998 – *Sécurité alimentaire et filières agricoles en Afrique de l'Ouest : enjeux et perspectives quatre ans après la dévaluation du franc CFA.* Bamako, Institut du Sahel (CILSS).

Leach M., Mearns R., Scoones I., 1999 – Environmental entitlements : dynamics and institutions in community-based natural resource management. *World Development,* 27 (2) : 225-247.

Lewis J., 1995 – *Community-based land management in West Africa : a review of current experience.* Ouagadougou, World Bank.

Maiga I., Diallo G., 1998 – *Land tenure conflicts and their management in the 5th Region of Mali.* London, International institute for environment and development (MED), Issue paper n° 76.

Marty A., 1993 – La gestion des terroirs et les éleveurs : un outil d'exclusion ou de négociation ? *Revue du Tiers Monde,* 34 (134) : 327-344.

McCowen R., Haaland G., HaanC. (de), 1979 – The interaction between cultivation and livestock production in semi-arid Africa. *Ecological Studies,* 34 : 297-332.

Moore K., Kabore D., Gnoumou B., Bertelsen M., 1999 – "Conflict and natural resource management". *In : Agricultural and pastoral systems of arid and semi-arid regions of West Africa : a review of the literature, key informant perspectives and lessons learned,* Mimeo, Virginia Tech., Blacksburg VA, Sanrem-CRSP West Africa.

Moorehead R., 1991 – *Structural chaos : community and state management of common property in Mali.* Ph D. dissertation, Institute of development studies, university of Sussex, Brighton.

Moseley W. G., 1999 – *Assessment of decision-maker priorities in Mali (West Africa) : findings from field visit #2.* Mimeo, Watkinsville GA, Sanrem-CRSP.

Moseley W. G., 1995 – "Securing livelihoods in marginal environments : can NGOs make a long-term difference". *In : Policy in the making. Poverty and food economy : assessing livelihoods,* London, Save the Children Fund, Policy development unit, Discussion paper n° 4 : 12-13.

Neely C, Buenavista G., 1999 – *Assessment of decision maker priorities in the Philippines.* Mimeo, Watkinsville GA, Sanrem-CRSP.

Painter T., 1993 – *Getting it right : linking concepts and action for improving the use of natural resources in Sahelian Africa.* International institute for environment and development (MED), Dryland networks program, Issue paper n° 40.

Painter T., Sumberg J., Price T., 1994 – Your "terroir" and my "Action Space" : implications of differentiation, mobility and diversification for the "approche terroir" in Sahelian West Africa. *Africa,* 64 (4) : 447-464.

Patton M. Q., 1990 – *Qualitative evaluation and research methods.* Second Edition, London, Sage Publications.

PGRN, sans date – *Projet de gestion des ressources naturelles.* Doc. Mimeo, Bamako, Sanrem-CRSP.

Sanrem-CRSP, 1999 – *Synthèse du diagnostic participatif réalisé à Madiama et Nérékoro du 1er au 14 février 1999.* Mimeo, Watkinsville GA, Sanrem-CRSP.

Shaikh A., 1989 – *The Segou roundtable on local level natural resource management in the Sahel.* USAID, Washington D. C., Sahel office, Bureau for Africa, E/DI.

Thomson J., Waldstein A., GellarS., Miner J., 1989 – "Options for promoting user-based governance of Sahelian renewable natural resources". *In : Symp. regional encounter for a better ecological balance in the rural Sahel,* Mali, 13-20 March, Associates in rural development Inc.

Turner M. D., 1999 – Conflict, environmental change and social institutions in dryland Africa : limitations of the community resource management approach. *Society and Natural Resources,* 12 (7) : 643-657.

NOTES

1. Sanrem-CRSP est une association d'institutions de recherche (universités et ONG) financée par l'USAID.
2. En faisant un classement matriciel, on demande aux participants de citer plusieurs facteurs (par exemple, leurs sources de revenus) et puis de montrer leur importance en mettant un certain nombre de cailloux à côté de chaque facteur.
3. Les études citées n'ont pas examiné explicitement l'impact de la gestion communautaire des ressources naturelles sur les conflits entre les communautés agricoles et les communautés pastorales.
4. C'est-à-dire les groupes qui sont arithmétiquement inférieurs en nombre, recensés ou non dans la commune.
5. Formation herbacée pérenne de la plaine inondée, d'une haute productivité et d'une grande valeur nutritive, utilisée comme pâturage dès que l'inondation se retire.
6. Notamment sur les terres sèches par réduction des jachères.
7. La Dina, régime théocratique peul, a duré de 1818 à 1863.

8. La réduction des relations de réciprocité entre éleveurs transhumants et agriculteurs dans la commune de Madiama a réduit la fumure des champs par le bétail.
9. Le « Programme d'appui à la recherche agricole et à la gestion des ressources naturelles durables » (Sanrem-CRSP) a donc organisé la formation à la gestion saine des ressources naturelles pour les communautés de la commune. La gestion saine couvre une large gamme et comprend les stratégies de résolution des conflits et d'exercice des droits des minorités.
10. La branche judiciaire n'est pas décentralisée au niveau communal.
11. Il y aurait évidemment problème si, par exemple, les représentants communaux développaient un plan foncier avant que la charte pastorale ne soit établie pour préciser l'organisation spatiale du pastoralisme transhumant.

AUTEURS

WILLIAM G. MOSELEY

Géographe. Macalester College, Geography Dep., 1600 Grand avenue, St Paul, MN 55105-1899, USA,

JULIA A. EARL

Sociologue. Universté de Géorgie, 1422 Experiment Road, Watkinsville, GA 30677, USA,

LASSINE DIARRA

Ecologue. IER, centre Sotuba, BP 9030, Bamako, Mali,

Priorités nationales et intérêt local

Des grands barrages à la décentralisation

Bréhima Kassibo

1 Dans un bassin hydrographique, le simple fait physique de la circulation de l'eau d'amont en aval induit que toutes gestions de l'eau dans le bassin, et donc toutes gestions de bassin fluvial, doivent être envisagées dans l'ensemble spatial couvert par tout le réseau hydrographique constitutif du bassin concerné. Dans la mesure où une gestion de l'eau a existé à la période coloniale (de nombreux projets de barrages hydroélectriques et d'irrigation ont été mis sur le papier), elle était rendue cohérente par l'existence d'un gouvernement central (en France) et d'organes d'exécution coordonnés en Afrique occidentale française. Après l'indépendance des États d'Afrique de l'Ouest, la nécessité de coordination a été ressentie. Par exemple, les pays concernés par le bassin du fleuve Niger ont mis en place des structures à cet effet. L'orientation presque exclusive des projets vers des aménagements lourds a été assez vite contestée (vers le milieu des années 1980). Cependant la tendance politique pour promouvoir à la fois la modernité technologique et l'unité nationale autour de projets prestigieux et coûteux, mais dont l'utilité est facile à invoquer, est restée forte. A l'inverse, les analyses sur les conséquences néfastes de telles réalisations ne manquent pas non plus ; en fait, elles se multiplient en même temps que se multiplient les aménagements lourds (Laurent et Mathieu, 1995).

2 Pour des raisons techniques évidentes (dimensionnement des ouvrages et des retenues, inefficacité du déversement par gravité), les barrages ne sont *a priori* jamais établis dans les zones inondables En revanche, les zones inondables sont fortement concernées par les barrages par les effets secondaires que ces derniers créent. Les questions posées à la recherche scientifique dans les domaines de la sociologie et de l'économie, sur les zones inondables spécialement, soulèvent alors le problème des échelles de leur développement, de l'opportunité et du suivi des aménagements. Si l'on associe souvent les grands barrages aux gestions globalisantes (régulations internationales des débits et de la navigation, production d'énergie et de céréales pour les besoins nationaux et pour l'exportation), il ne faut pas perdre de vue qu'ils ont des conséquences très importantes au niveau local, où les normes de gestion pour un développement durable sont tout à fait différentes. Le problème se complique dans les zones inondables, dans lesquelles les options de développement durable passent par la conservation des ressources naturelles

et des systèmes locaux qui les exploitent, alors que les barrages en sont l'antinomie. Nous examinerons quelques aspects de cette antinomie dans deux systèmes emboîtés, le bassin du Niger et le delta intérieur malien, en portant notre attention sur les avatars de leur développement dans l'histoire récente, sur le contexte politique de la décentralisation au Mali et sur les échelles de leurs gestions.

Les grands projets nationaux ou internationaux et les usages locaux

3 Le Mali est un pays sous-développé dont l'essentiel des ressources repose sur la production agricole. Cette production s'est heurtée au cours des décennies récentes à la persistance des aléas climatiques (sécheresses, inondations excessives) qui ont à plusieurs reprises mené le pays au bord de la famine. Afin d'éradiquer ce fléau, le maître mot de la politique gouvernementale a été centré sur la maîtrise de l'eau au niveau national dans le but d'assurer l'autosuffisance alimentaire. Plusieurs barrages, considérés comme garants du développement économique et de la sécurité alimentaire, ont été construits afin de contourner les contraintes hydrologiques. Ces constructions ont créé un nouvel usage de l'eau, dont le partage a privilégié la production énergétique et l'irrigation sur les autres activités de production telles que l'élevage et la pêche.

4 Les grands projets de barrages matérialisaient la modernité et l'intégration, nationale et internationale ; leurs conséquences ont été moins grandioses. Les effets ne sont pas tous positifs dans les domaines de la santé et de la nutrition ; ils se comblent très rapidement ; leur construction et leur entretien endettent le pays pour longtemps, en attendant des bénéfices non démontrés[1]. Ainsi le barrage de Manantali, mis en eau en juillet 1987 au Mali sur le fleuve Sénégal sous la tutelle de l'OMVS, apparaissait comme l'exemple le plus réussi de l'intégration sous-régionale entre le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. A cause des différends sur le partage des eaux de la retenue, il est devenu une source de discorde entre les trois pays. Sur le cours du Niger et de ses affluents, on dénombre une quinzaine de retenues hydrauliques d'une capacité de 35 milliards de mètres cubes. Sept sites hydroélectriques équipés et mis en service possèdent une capacité de production énergétique qui représente 20 % du potentiel du bassin, le Nigeria fournissant 91 % de la production actuelle (Bocoum, 1999). Le volet irrigation a été pris en compte par leurs concepteurs mais peu ont pensé à la pêche qui est venue ensuite s'ajouter aux activités initiales grâce au dynamisme des pêcheurs, toujours prêts à s'installer auprès des nouvelles retenues. La réalisation et la présence de ces ouvrages soulèvent de nombreux problèmes environnementaux et socio-économiques, ceux-ci concernant particulièrement le partage de l'eau et la définition de ses usages prioritaires. Plusieurs pays ont ainsi réalisé sans concertation préalable entre eux des ouvrages dont les conséquences se font lourdement sentir en aval. On constate en outre un déséquilibre important au niveau sous-régional et national dans les usages prioritaires de l'eau et leur répartition aux différentes catégories d'usagers : citadins, agriculteurs, éleveurs, pêcheurs... Chaque pays privilégie ses priorités nationales au détriment éventuel de celles de ses voisins, ce qui pose des problèmes d'articulation. Des coordinations sont pratiquées cependant, telle que le soutien des débits d'étiage à Niamey (Niger) par les lâchers du barrage de Sélingué à l'amont de Bamako (Mali).

Les barrages et leurs conséquences

5 Le delta intérieur du Niger est un écosystème riche et varié mais fragile. Sa principale source de richesse est symbolisée par l'eau, élément vital autour duquel s'articulent les différentes activités productives telles que la pêche, l'agriculture et l'élevage. La valorisation de cette richesse passe par la sauvegarde de l'hydrosystème naturel, dont le fonctionnement est tributaire de mécanismes complexes dans lesquels l'étendu et l'histoire du bassin versant amont et le phénomène de crue annuelle jouent un rôle essentiel. L'équilibre de l'hydrosystème repose donc sur les débits hydrologiques. Or ceux-ci subissent des transformations, induites notamment par les barrages d'amont. Sur le Niger malien, le barrage de Markala consacré à l'irrigation de l'Office du Niger, et sur son affluent le Sankarani, le barrage de Sélingué orienté vers la production d'énergie électrique et l'irrigation, ont tous deux une incidence directe sur l'écosystème du delta intérieur et ses systèmes de production, la pêche en particulier.

6 Bien avant l'indépendance du pays, la construction du barrage de Markala par la France, entre 1936 et 1946, visait à transformer la zone sèche du delta mort en pourvoyeur de coton pour la métropole grâce à la création du grand projet d'irrigation de l'Office du Niger. En même temps, l'introduction de la riziculture irriguée en submersion contrôlée nourrissait l'ambition de transformer cette région en grenier céréalier de l'Afrique de l'Ouest. L'initiateur du projet voulait en faire le plus grand ouvrage d'irrigation de l'Afrique de l'Ouest, à l'image des aménagements sur le Nil. L'échec de la culture cotonnière engendra son remplacement par la culture du riz, qui devenait la spéculation agricole principale, l'élevage et la pêche étant considérées comme des activités subsidiaires. Le vœu émis en 1999 par l'Office du Niger de porter la superficie irriguée initiale de 74 000 ha à 1 100 000 ha sans étude environnementale préalable et sans concertation véritable avec les partenaires techniques ni avec les autres utilisateurs de l'eau, aurait des conséquences importantes sur l'exercice des activités dans le delta.

7 La construction du barrage de Sélingué, beaucoup plus récente (mise en eau en 1980), entraîna plusieurs conséquences locales : submersion d'habitats et de sites historiques, propagation de la bilharziose et du paludisme, déplacement forcé de population. Conçu initialement pour la fourniture d'énergie électrique à la ville de Bamako et le maintien du débit d'étiage du fleuve Niger, le projet se vit adjoindre des aménagements destinés à la riziculture irriguée, à la pêche et à la pisciculture.

8 Outre les deux principaux barrages existants, deux autres sont actuellement à l'état de projets avancés : sur le Bani celui de Talo en amont du delta (à 80 km à l'amont de Djenné) pour l'irrigation, et sur le Niger celui de Tossaye (ou Taoussa) à l'aval du delta dans la boucle du Niger à l'amont de Gao pour la production d'hydroélectricité, le soutien des débits d'étiage en aval et la navigation. Talo et Tossaye (outre l'aménagement du seuil de Djenné pour l'irrigation) auront assurément des incidences en amont et en aval. Là aussi, il est peu question de pêche et d'élevage : la politique de sécurité alimentaire n'est axée que sur l'autosuffisance céréalière, supposée garantie par la maîtrise de l'eau. Et pourtant, s'il est certain que l'hydrosystème sera perturbé de façon importante, rien n'assure que la production agricole sera améliorée.

Le delta intérieur et les lâchers d'eau

9 De même que le détournement d'une partie du débit vers les périmètres de l'Office du Niger est prioritaire à Markala, la production d'énergie électrique est prioritaire à Sélingué, quelles que soient les concurrences entre secteurs d'activité pour l'usage de l'eau. Pendant la saison des hautes-eaux (de juin à octobre), le barrage de Sélingué stocke l'eau dans son réservoir afin de pouvoir faire tourner ses turbines hydroélectriques en basses-eaux. De plus, en étiage (d'avril à mai), il est également tenu de soutenir les débits du Niger en aval par des lâchers d'eau pour assurer les prélèvements d'eau de l'Office du Niger et l'écoulement en eau à Niamey. Les lâchers d'eau sont donc fonction des besoins de la centrale électrique – et donc de la demande urbaine de la ville de Bamako – en même temps que de ceux des biefs fluviaux situés loin en aval. Cette demande urbaine fait que les lâchers sont irréguliers ; cette irrégularité est surtout ressentie en étiage, car elle a alors une incidence négative sur la pêche dans le delta intérieur, cinq cents kilomètres en aval. Les pêcheurs y ont constaté un changement du comportement des poissons depuis la construction de l'ouvrage. Normalement, pendant la crue l'eau se répand dans les plaines inondées, le poisson s'y dispersant pour frayer. A la décrue, le Niger se réduit à son lit mineur et les poissons piégés dans la plaine se concentrent dans les fosses, les mares permanentes et les lacs. Cette concentration en des sites précis a suscité un type de pêche collective appelée *ya ya,* qui regroupe pêcheurs professionnels et agriculteurs riverains sur des portions d'eau exploitées librement en commun et à des moments fixés chaque année par les maîtres d'eau grâce au calendrier stellaire. Les lâchers d'eau du barrage de Sélingué viennent constamment perturber la succession et la durée de ces pêches. Chaque lâcher s'apparente à l'arrivée de la « nouvelle eau » et est assimilé à l'arrivée de la crue. Il provoque la dispersion des poissons et rend leur capture difficile. De plus, les lâchers engendrent des changements qualitatifs de l'eau (couleur, turbidité) et des changements de vitesse de l'eau qui perturbent le comportement du poisson. D'importants manques à gagner en résultent pour les pêcheurs, malgré qu'ils se soient mobilisés pour obtenir une régulation des lâchers en fonction de leur compatibilité avec les pratiques normales de la pêche.

Les instruments d'une gestion intégrée

10 Face au risque de fragilisation du bassin fluvial dans son ensemble, des organes internationaux, nationaux et régionaux ont été mis en place depuis longtemps avec des succès divers. Au niveau international, les décideurs des huit États concernés ont créé des organes appropriés et conçu des projets dans le cadre du développement durable. L'Autorité du bassin du Niger (ABN) a été créée en 1980 à Faranah (Guinée) pour remplacer la Commission du fleuve Niger qui avait été créée en 1964 à Niamey (Niger). L'Autorité du bassin du Niger est avant tout un outil de coopération entre les États du bassin afin d'en assurer le développement intégré. Elle a pour mission de concevoir, réaliser, exploiter, entretenir des ouvrages et des projets communs (ABN, 1999 a). Huit États en sont membres : Guinée, Mali, Niger, Tchad, Bénin, Côte d'Ivoire, Nigeria, Cameroun. La « Déclaration de Bamako » (ABN, 1999 b) souligne plusieurs objectifs :

- définir une approche stratégique coordonnée entre tous les acteurs au niveau local, au niveau national et au niveau du bassin fluvial (correspondant au niveau international) pour

sauvegarder les ressources naturelles et pour mobiliser les ressources en eau de façon intégrée en vue du développement économique de l'ensemble des populations, de l'amont à l'aval du fleuve ;

- associer tous les acteurs concernés par l'environnement dans le nouveau contexte de la décentralisation et de la démocratisation ;
- harmoniser les stratégies des différents acteurs avec les principes et les politiques institutionnelles par la mise en place d'agences de bassin dans chaque pays.

11 Reste maintenant à examiner comment ces objectifs généraux, écrits pour le bassin fluvial dans son ensemble, s'ajustent aux cas particuliers des zones inondables. Celles-ci sont dispersées en chapelets le long des rives basses, sauf dans le delta maritime (qui n'est pas abordé ici) et dans le delta intérieur, tous deux beaucoup plus complexes. Il est alors indispensable de connaître les fonctionnements de ces écosystèmes particuliers. Des outils scientifiques de suivi et de contrôle[2] sont en cours de mise en place : systèmes d'information géographique, observatoires environnementaux, systèmes de suivis, modèles de simulations. Le delta intérieur malien a fait l'objet de plusieurs expériences de gestion environnementale. Jusqu'à 1991, les modèles de gestion et d'aménagement ont tous été caractérisés par un centralisme extrême et par l'intervention de l'État dans tous les systèmes de production et dans tous les modes d'organisation socioprofessionnelle et associative. Cette politique a abouti à une gestion très sectorielle des ressources avec la mise en place, dans les décennies 1970 et 1980, des « Opérations de développement rural » (ODR). Ainsi, l'« Opération pêche Mopti » (OPM), créée en septembre 1972, s'est vue attribuer les missions d'encadrement technique des pêcheurs du delta ; l'« Opération riz Mopti » (ORM) initiée en 1972 et l'« Opération mil Mopti » dont la création date de la même année étaient chargées pour la première d'assurer la culture du riz dans des casiers aménagés irrigués par gravité à partir du fleuve, pour la seconde de l'organisation des paysans pour améliorer les techniques de production de céréales pluviales et les rendements. Enfin, 1'« Opération de développement de l'élevage dans la région de Mopti » (ODEM), créée en 1975, avait pour mission l'encadrement des éleveurs dans la Cinquième Région et de façon générale la promotion des activités de production pastorale. Plusieurs griefs ont été exprimés à l'égard de ces organismes : fonctionner de façon cloisonnée et sans rapports les uns avec les autres sur le même espace et dans le même environnement naturel ; peser de façon paternaliste sur les acteurs locaux par un encadrement intense, leurs laissant peu d'initiatives et négligeant leurs savoirs ; exclure des partenaires en ne défendant que leurs propres intérêts ; ne pas pratiquer de coordination avec les autres ODR, ne serait-ce que pour promouvoir un schéma directeur d'aménagement régional. De plus, leur structuration dans l'espace strictement administratif découpait l'hydrosystème en unités séparées sans tenir compte de l'organisation naturelle de la région inondable. Les problèmes économiques et sociaux révélés progressivement par la sécheresse à partir de 1975 et de mauvaises gestions ont fait disparaître certaines ODR ou bien l'État les a réduites à des structures d'encadrement rattachées à une direction technique dépourvue de moyens.

12 Le cadre juridique et réglementaire qui existait avant la décentralisation était rigide et répressif. Il était caractérisé par la domanialité, qui conférait à l'État la propriété des espaces et la décision sur les ressources : eau, forêts, pâtures, terres. L'État était le seul producteur de lois, de codes et de règles, dont l'application s'effectuait par le service national des eaux et forêts pour ce qui concernait l'eau, les formations forestières et les animaux sauvages (parmi lesquels les poissons). Le contrôle de l'État sur ses agents était

laxiste, ce qui encourageait l'arbitraire et les exactions. En même temps, le caractère inapplicable de certaines mesures réglementaires, inadaptées ou trop générales, favorisait les transgressions de la part des producteurs et la multiplication de solutions locales hétérogènes. Au lendemain du changement politique de 1991, lors des états généraux du monde rural, les communautés rurales réclamèrent une transformation radicale des rapports qui les liaient aux agents forestiers. Une relecture globale du cadre institutionnel fut entreprise, entraînant la transformation du code domanial et foncier, des codes de pêche et de chasse, et de la charte pastorale. La mise en pratique de la gestion décentralisée des ressources naturelles implique désormais une plus large participation des acteurs locaux aux prises de décision. Les principes de gestion environnementale sont ainsi transformés par le nouveau type de partenariat entre l'État et le monde rural, mis en œuvre par le minimum de structures pour coordonner les actions d'encadrement telles que formation, appui, conseil, vulgarisation. La réduction de la mission de l'État se traduit par de nouveaux organes techniques dévolus à des fonctions spécifiques à chaque niveau d'intervention : appui-conseil, réglementation et contrôle, équipement et aménagement. Chaque structure se voit confier une mission à travers les directions nationales, régionales et locales, auxquelles correspondent les entités exécutives décentralisées (assemblée régionale, conseil de cercle, conseil communal) avec lesquelles s'établit le partenariat. Cette organisation a le mérite de mettre un terme au développement sectoriel. Grâce à l'approche par système de production et à la coordination des interventions, elle instaure une intervention intégrée. Le rôle de l'administration auprès des partenaires des collectivités décentralisées se réduit alors à l'arbitrage des décisions prises par les conseils et à l'appui-conseil pour le développement. Les collectivités territoriales détiennent désormais de larges pouvoirs en matière d'aménagement et de gestion des ressources naturelles. La loi déterminant le principe de leur libre administration[3] stipule que « pour accomplir ses missions, chaque collectivité dispose de services créés par elle-même et des services déconcentrés de l'État (...). Un décret pris en conseil des ministres fixe les conditions de mise à disposition des services déconcentrés de l'État ». Et la loi 96-050 donne aux collectivités territoriales une responsabilité dans la gestion, l'aménagement, la conservation et la sauvegarde de l'équilibre écologique de leur domaine, en rapport avec les schémas nationaux sur les forêts, l'agriculture, l'élevage, la faune sauvage, la pêche, les mines, l'habitat. Chaque collectivité décentralisée possède donc un degré d'autonomie élevé pour la gestion de ses ressources, appuyée en cela par les services de l'administration déconcentrée, ce qui favorise la gestion de proximité. Les communes peuvent coopérer entre elles sur des espaces partagés pour la pêche et l'élevage transhumant, par exemple. Mais la question reste posée de la conciliation entre les multiples pratiques spécialisées de la gestion locale (communale, villageoise, familiale) et les aspects généraux de la sauvegarde de l'environnement. En effet, la gestion des ressources et des espaces productifs du delta intérieur dépend aussi de l'organisation des différents systèmes œuvrant au niveau du bassin fluvial entier.

Intégrer les échelles

13 En effet, la gestion intégrée des ressources naturelles implique interaction et coordination entre tous les niveaux de la prise de décision. Actuellement, il semble que le rôle de coordinateur au plus haut niveau pourrait être joué par l'Autorité du bassin du

Niger : l'établissement d'un observatoire sous-régional pour le suivi des aménagements et la surveillance écologique de tout le bassin du Niger matérialiseraient une gestion supranationale. Malheureusement, l'ABN est victime de son gigantisme et est tombée dans une léthargie dont les États membres tentent épisodiquement de la tirer. Pendant ce temps, les dégradations du milieu naturel se poursuivent : ensablement du lit du fleuve, pollution chimique des eaux, progression des jacinthes d'eau, deforestation et érosion des berges, etc. Au niveau des États, la nécessité d'une législation sur les usages de l'eau, qui pourrait être partagée entre plusieurs (comme la Guinée et le Mali par exemple), se fait sentir de plus en plus fortement.

14 Au niveau des communes rurales maliennes, des syndicats de communes peuvent en réunir plusieurs sur des actions concertées ou pour la gestion permanente des activités dont les espaces de production s'étendent sur plusieurs communes. La pêche et l'élevage sont les plus concernés dans le delta puisque la mobilité des ressources et des producteurs demande une articulation constante des territoires (aires de production, accès, habitats) qui ne correspond pas au découpage foncier communal. Le code domanial et foncier, les codes de chasse et de pêche, la charte pastorale donnent aux communes des droits de cession et de location de terres. Au niveau communal, les conseils de pêche et les comités de résolution des conflits rassemblent des représentants des chambres d'agriculture, des gestionnaires traditionnels et des élus. Au niveau national, un schéma de développement prend en compte les intérêts de chaque groupe de producteur dans un rapport équilibré avec les autres. Les élus des collectivités territoriales peuvent assurer la coordination indispensable à une gestion intégrée des ressources naturelles.

15 Ceci dit, le rôle des administrations déconcentrées dans la gestion des ressources naturelles manque encore de clarté : elles interviennent certes à travers les services techniques cités plus haut et dans le contrôle de la légalité des actions des autorités communales, mais l'exercice de leurs responsabilités comporte plusieurs zones d'ombre. La première tient aux applications de la réforme du ministère du Développement rural. Tous les niveaux d'intervention, composés de seulement trois organes, comprennent un nombre d'agents qui paraît vraiment réduit. La pêche au niveau national, par exemple, est confiée à une section qui ne comprend pas plus de trois personnes qualifiées. Au niveau régional, le personnel est encore plus restreint et manque de moyens. De plus, un cumul de compétences administratives se produit dans certains cas : quand un agent forestier doit s'occuper de l'inspection sanitaire de la viande et qu'un technicien agricole s'occupe de pêche, par exemple. La division des tâches est donc mal répartie, ce qui entraîne des carences d'efficacité. La réforme de 1993, qui consiste en la mise en œuvre du plan d'action du schéma directeur du développement rural, n'a donc pas réellement abouti. Par ailleurs, l'information nécessaire à la décision ne paraît pas correctement organisée ni répartie : les risques de duplications et de lacunes ne sont pas négligeables, notamment au niveau régional. La région naturelle qu'est le delta intérieur reste divisée en trois collectivités régionales (Ségou, Mopti, Tombouctou) entre lesquelles la coordination des actions et des suivis n'est pas réellement assurée.

Conclusion

16 Ainsi, l'intégration à laquelle nous pensons principalement, parce que c'est elle qui nous paraît poser le plus grand nombre de problèmes non résolus, est celle des différents niveaux d'organisation qu'exige la gestion de l'eau et des usages qu'elle induit dans un

système hydrographique inondable. Or au Mali, le problème n'est plus de créer des structures adéquates aux échelles correspondant à ces différents niveaux : ces structures existent désormais, ou bien on sait comment les créer. Le défi est de coordonner leurs objectifs et leurs efforts. Entre l'intérêt général des citoyens d'un État (la fourniture d'énergie aux villes, une certaine indépendance en ravitaillement céréalier, etc.) et l'intérêt particulier d'un ensemble de communes rurales en zone inondable (la préservation de la pêche, la conservation de spécificités culturelles liées à des systèmes de production imbriqués autant dans l'espace que dans le temps), où se font les choix légitimes ? Il n'est pas suffisant de répondre que « les urnes trancheront », même et surtout sous un régime démocratique. Il n'est pas suffisant non plus de dire que des réglementations adéquates (encore à trouver ?) fourniront les solutions. La recherche scientifique – et tout particulièrement dans les sciences de la société – propose de l'information, non plus sectorielle, mais intégrée cette fois, en recherchant les meilleurs outils de cette intégration. Les bases de données environnementales, les observatoires, les modèles sont en effet des instruments efficaces dont l'appropriation reste à étendre auprès des multiples acteurs de tous les niveaux impliqués.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

ABN, 1999 a – *Vers une gestion globale et durable des ressources du bassin du fleuve Niger.* Actes colloque Sauvegarde du fleuve Niger, Bamako, 5-7 avril, Gouv. Mali-ABN-Pnud-DAES, Niamey, ABN, 57 p.

ABN, 1999 b – « Déclaration de Bamako ». *In : Vers une gestion globale et durable des ressources du bassin du fleuve Niger,* Colloque Sauvegarde du fleuve Niger, Bamako, 5-7 avril, Mali-ABN-Pnud-DAES, Niamey, ABN : 5-7.

Bocoum Y. I., 1999 – « Potentiel inutilisé du fleuve Niger et développement socio-économique ». *In : Vers une gestion globale et durable des ressources du bassin du fleuve Niger,* Colloque Sauvegarde du fleuve Niger, Bamako, 5-7 avril, Mali-ABN-Pnud-DAES, Niamey, ABN : 20-21.

Laurent P.-J., Mathieu P., 1995 – Actions locales, enjeux fonciers et gestion de l'environnement au sahel. *Cahiers du Cidep,* l'Harmattan, 27.

NOTES

1. « Colloque international Eau et Santé », Ouagadougou, décembre 2000.
2. Voir la quatrième partie et la cinquième partie du présent volume.
3. Loi n° 93-008, article 9, modifiée par la loi 96-056 du 16 octobre 1996.

AUTEUR

BRÉHIMA KASSIBO

Socio-anthropologue. Institut des sciences humaines, BP 159, Bamako, Mali,

Les agents intermédiaires de recherche

Entre chercheurs et développeurs

Marie-Laure de Noray

1 Cette communication a pour objectif de présenter les contours d'une profession que nous plaçons au centre du processus de recherche concernée par le développement : celle d'agent intermédiaire de recherche. C'est dans le cadre du delta intérieur du fleuve Niger au Mali que s'est effectuée l'étude de terrain sur laquelle porte cette présentation. Il s'agit ici de cerner les enjeux et les caractéristiques de cette profession dans une zone inondable aux particularismes naturels et sociaux marqués par la complémentarité dans le temps et dans l'espace de trois systèmes d'exploitation : pêche, agriculture, élevage. Les activités de recherche menées par l'Orstom (devenu IRD) depuis une trentaine d'années ont fait de cet espace un terrain où sciences de la nature et sciences de l'homme intègrent leurs approches de ses réalités et de ses potentialités de développement.

2 Sans attendre, et pour éviter toute ambiguïté terminologique, précisons ce que nous entendons par l'expression *agent intermédiaire de recherche* : il s'agit d'un agent (souvent un enquêteur, un technicien) travaillant pour un ou plusieurs programmes de recherche. Il se place entre les personnes-ressources (détentrices d'information) et l'institution de recherche, commanditaire et demandeuse d'information. La notion de personne-ressource telle que nous l'employons ici recoupe ce qu'en général on nomme « les populations » ou « le terrain », ceux que l'on qualifie (dans le registre de l'action de développement) de « public-cible » ou de « bénéficiaires ». Les mots « technicien », « intermédiaire » impliquent une position subalterne d'auxiliaire, une transmission, une position moyenne. Les intermédiaires de la recherche sont souvent individuellement désignés par la tâche qu'ils accomplissent : enquêteur, interprète. Administrativement – dans la mesure où les catégories de l'administration de la recherche leurs sont appliquées [1] –, ils appartiennent au corps des techniciens, lesquels effectuent les relevés et les mesures sur le terrain, font passer les questionnaires, exécutent les maintenances et assurent les services logistiques. Il arrive que leur travail se confonde en partie avec celui des chercheurs et particulièrement avec celui des jeunes « apprentis » inscrits en DEA et en thèse.

3 Les métiers d'agents intermédiaires en Afrique de l'Ouest ont fait l'objet de programmes de recherche relevant principalement de l'anthropologie et intégrant des approches socio-économiques dans une démarche pluridisciplinaire. Ces recherches concernent le milieu de l'aide au développement et se préoccupent des relations qui s'instaurent autour des projets, programmes, actions de développement initiés ou pris en charge par des organisations non gouvernementales et internationales. Elles ont pour objet de recherche principal les agents locaux de développement travaillant sur projet (Bierschenk, 1988 ; Olivier de Sardan et Paquot, 1991 ; Olivier de Sardan, 1995 ; Noray, 2000) ou bien le fonctionnement relationnel des opérations de développement (Mathieu, 1994 ; Raynaut, 1989). A partir des profils, rôles et enjeux, ces études ont mis en évidence la fonction de captage et de courtage de l'aide extérieure qui incombe aux agents locaux de développement, en insistant notamment sur leur double statut : celui de personnel de projet et celui de membre des communautés bénéficiaires.

4 Méthodologiquement, ces études abordent le thème de l'aide à travers ses acteurs et les liens qui les unissent et non pas à partir des résultats plus ou moins tangibles des actions de développement engagées ; ce choix marquent une différence d'approche notable avec le travail d'expertise socio-économique. Notre étude relève de la même préoccupation. En s'intéressant essentiellement aux acteurs et au tissu relationnel dans lequel s'insèrent leurs fonctions, elle consiste à faire l'analyse sociologique d'une population d'intermédiaires travaillant dans une sphère spécifique de la recherche scientifique (fondamentale et finalisée) pour le développement.

5 La sociologie de la recherche dans les pays en développement a inspiré jusqu'à présent des travaux analysant la recherche au Sud prioritairement sous l'angle de ses structures (Gaillard, 1996 ; Gaillard et Waast, 2000). Ici, il s'agit avant tout d'acteurs et de perceptions. En portant un regard sur l'organisation sociale au sein des programmes de recherches scientifiques de l'IRD et de plusieurs instituts maliens (Direction nationale de l'hydraulique et de l'énergie, Institut national de recherche sur les zones forestières et halieutiques, Institut d'économie rurale, etc.), on perçoit fort bien le rôle des agents intermédiaires de recherche et l'évolution ce cette profession.

6 Pendant plusieurs années, l'activité des services techniques hydrologiques aux travaux de terrain a été prépondérante dans le cadre de la collaboration malienne avec l'Orstom : maintenance et usage d'un matériel spécialisé et coûteux, relevés et mesures en grand nombre. A partir de 1986 et pendant une dizaine d'années, de grandes campagnes d'enquêtes socio-économiques et de mesures biologiques et halieutiques ont été menées dans le delta intérieur du fleuve Niger. Les enquêteurs et techniciens, nombreux, étaient autonomes sur le terrain à la manière des agents recenseurs de la population. Plusieurs d'entre eux, après une formation complémentaire, ont effectué la saisie numérique des données recueillies, puis ont participé, soit comme enquêteur, soit comme interprète, soit comme personnes-ressource aux travaux d'interprétation et d'analyse des résultats, puis à la mise en forme des bases de données résultantes. Ces mêmes personnes ont ensuite collaboré aux travaux de l'équipe de recherche franco-malienne et pluridisciplinaire du programme Gihrex (*Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation,* 1996-2000).

7 Les réflexions qui font l'objet de cette présentation font suite à un travail d'observation et d'analyse de la profession d'agents intermédiaires de la recherche sous l'angle des relations humaines. Elles se sont construites à partir du discours recueilli auprès d'une vingtaine d'intermédiaires de recherche ayant participé aux travaux effectués ou initiés

par l'IRD (institut français) et l'IER (institut malien) dans le delta intérieur du Niger, au Mali. Pour le recueil de discours, on a procédé par entretiens semi-structurés. En partant de l'auto-perception de la profession en même temps que de l'observation extérieure de cette auto-perception, nous illustrons l'idée qu'un métier ou un rôle se déterminent socialement à la fois par l'image que ceux qui les exercent s'accordent à lui donner (auto-définition et auto-positionnement social) et par le regard que porte sur lui le reste de la société. Nous aborderons donc la profession d'agents intermédiaires de recherche à partir des deux questions suivantes :

- quels rôles et positions les agents intermédiaires occupent dans les actions de recherche concernant le delta intérieur du Niger ? Ce thème sera abordé sous l'angle communicationnel ;
- dans quelle mesure le contexte géographique (« zone inondable tropicale ») et l'objectif (« gestion intégrée des ressources naturelles ») impliquent-ils pour la profession d'agent intermédiaire de recherche des exigences quant à son exercice ?

8 Nous conclurons sur les capacités de la profession à intégrer une fonction opérationnelle de développement liée à l'application des résultats de la recherche, en proposant quelques pistes menant à une valorisation effective des agents intermédiaires.

Positionnement et rôles de l'agent intermédiaire de recherche

L'agencement des rôles

9 La figure 1 illustre le positionnement social de l'agent intermédiaire, en schématisant les relations ou flux de communication (symbolisés par les flèches) qui existent entre les acteurs de la recherche, à savoir : les chercheurs institutionnels, les personnes-ressource et, entre eux deux, les intermédiaires de la recherche. Les flux de communication correspondent aux trois rôles qui déterminent principalement la fonction de l'agent intermédiaire de recherche : la collecte de données ; l'interprétation des données collectées à destination du chercheur demandeur, on parlera de « fournisseur-interprète » ; la restitution des résultats de la recherche auprès des personnes-ressource

(nous utiliserons toujours ce terme pour désigner les personnes étudiées et questionnées afin d'éviter l'emploi du terme impersonnel et générique de « populations »).

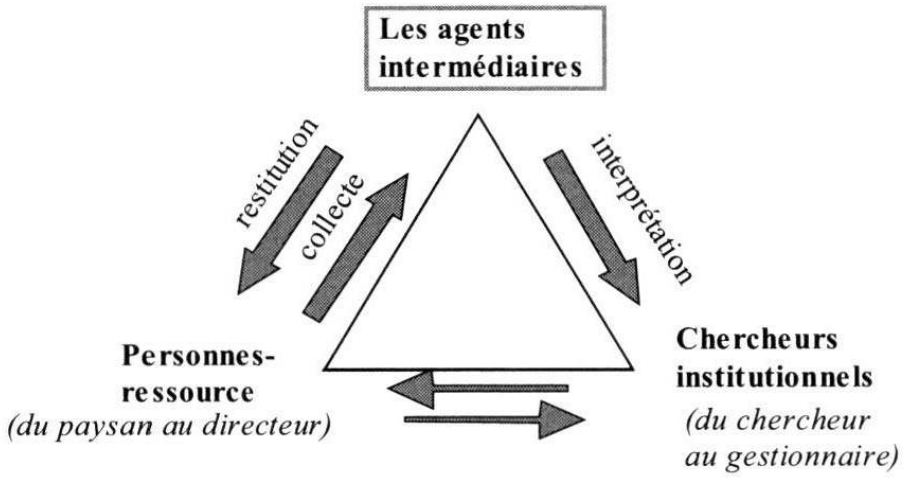


Figure 1. Schéma de communication et d'inter-relation précisant le positionnement social de l'agent intermédiaire de la recherche. Une flèche signifie « émet vers » ou « reçoit de ». Les flèches horizontales en bas du schéma représentent le cas où le chercheur est lui-même sur le terrain sans présence intermédiaire.

Le rôle de collecteur de données de première génération

10 L'agent intermédiaire de recherche va puiser ou récupérer de l'information sur le terrain, il est donc extracteur de données autour de questions en général bien identifiées par les chercheurs qui ont alors la fonction de donneurs d'ordres. Le rôle est visible et correspond à un cahier des charges : écrit ou non, celui-ci est clairement défini et toujours explicite. Dans le discours des agents, ce rôle s'articule autour des quatre points forts suivants.

11 *La responsabilisation* : se sentir responsable est un point positif récurrent chez les agents de recherche en général, quelle que soit leur place dans la séquence de la recherche. Ils se sentent responsables de leur travail et de leurs tâches, que celles-ci leurs aient été imposées ou non. Il a été mentionné dans les entretiens que la hiérarchie peut jouer avec cette notion de responsabilisation, en faisant croire que l'on est plus responsable que l'on est en réalité, dans le but de mettre l'agent en confiance. Une différence est donc perçue entre responsabilisation et considération. Les contrôles de terrain sont perçus comme des marques de considération : « On ne dépenserait pas tant d'argent et tant de temps pour visiter des incapables ».

12 *La conscience de ses capacités techniques et relationnelles* : globalement, les agents de recherche sont conscients de leurs compétences et disent que leur niveau de connaissances est en adéquation avec leur fonction. Les intéressés disent avoir conscience de la maîtrise d'une spécialité, et donc conscience d'être détenteurs de données non seulement utiles mais irremplaçables. La fonction d'enquêteur auprès des personnes ou même de traducteur est perçue comme étant un apport essentiel à l'opération de recherche. Les agents donnent une grande importance à ce rôle d'intermédiaire, de médiateur, de facilitateur et souhaitent qu'il soit pris en compte à sa juste valeur. De façon générale, les acteurs de la recherche (intermédiaires, techniciens et chercheurs) se

reconnaissent tous de grandes qualités relationnelles, avec un goût certain pour le travail en équipe qu'ils considèrent soit comme naturel, soit acquis par leur expérience.

13 *Une haute image de la recherche* : il ressort des entretiens un goût prononcé pour la recherche et ce, quelle que soit la place qu'occupe l'agent dans la filière. Ce goût est présenté comme une aspiration en général décelée pendant les études : on parle d'un sens inné de la recherche, d'un émerveillement, d'une vocation. Les agents expliquent en quoi ils sont poussés par ce goût malgré les vicissitudes, regrettent le cas échéant de ne pas avoir commencé plus tôt ; les ingénieurs aspirent au statut de chercheur et trouvent là une motivation importante ; les techniciens et enquêteurs, dont le niveau d'étude est souvent moins élevé, ne désespèrent pas et rêvent aux possibilités qui, avec un peu de chance, pourraient s'ouvrir à eux. Certains d'entre eux s'auto-positionnent comme chercheurs, parlent des recherches qu'ils mènent parallèlement ou qu'ils voudraient mener. Ils évoquent la possibilité de s'investir davantage dans des opérations de recherche, seul ou en relation avec des chercheurs, quand ils en auront le temps, à la retraite, notamment.

14 *La non-valorisation sociale du métier* : les agents intermédiaires expriment le sentiment que leurs tâches et leurs actions sont mal comprises, en tout cas peu valorisantes aux yeux des personnes auprès desquelles ils travaillent sur le terrain, qu'il s'agisse d'interlocuteurs directs lors d'enquêtes ou d'observations relevant des sciences sociales, ou bien de l'environnement humain de l'objet de recherche, dans les autres cas. Les agents de recherche subissent souvent avec difficulté le regard extérieur, au mieux avec indifférence. Le discours ambiant véhicule l'idée que la recherche est inefficiente : beaucoup de travail, de temps, d'efforts, de moyens, de concessions, d'isolement pour un résultat quasiment impalpable. On fait facilement à la profession un procès d'individualisation, comportement considéré comme socialement déviant. L'un raconte son refus de poser un émetteur sur un poisson en vue de faire du radio-traquage, en raison de l'absurdité du geste au regard des pêcheurs, et par conséquent pour le risque de déconsidération sociale qu'il encourt. Un autre relate sa gêne à l'idée de poser telle question qu'il juge indiscrète ou incongrue. On peut avancer qu'en termes de reconnaissance sociale, le rôle de collecteur est plutôt ingrat. Les agents intermédiaires le reconnaissent mais disent s'en accommoder en argumentant que le travail en question est suffisamment intéressant pour faire abstraction de sa dévalorisation locale et en se référant aux images plus valorisantes liées aux deux autres rôles.

Le rôle d'interprète-commentateur pour la production d'informations de seconde génération

15 Dans un deuxième temps, l'agent intermédiaire va livrer les données recueillies au demandeur, et dans la plupart des cas, il va interpréter, commenter, organiser ces données, souvent (mais pas systématiquement) avec un chercheur ; il est alors fournisseur de données de seconde génération. Ce rôle est reconnu, mais ses composantes et ses limites demeurent assez floues. Pour les demandeurs, il tient plus de l'évidence que de la stratégie, puisque de cette phase dépend en grande partie la fiabilité des données. Le rôle d'interprète n'est pas spécifique aux programmes scientifiques, il concerne aussi – et dans de plus amples proportions – les opérations d'aide au développement. Il n'est pas inutile de se référer à l'époque coloniale en évoquant la structuration d'une classe d'agents administratifs intermédiaires entre les cadres français et les administrés,

souvent nommés de façon restrictive « interprètes »[2]. Le rôle d'interprète-commentateur peut être simultané à la collecte des données ou la procédure d'enquête ou bien différé par rapport à cette première tâche. Le premier cas correspond à la situation où le chercheur est présent sur le terrain aux côtés de l'agent intermédiaire. Le second implique que l'agent a fait son travail de collecte de façon autonome, et a transcrit, saisi et parfois commencé l'analyse des données avant de les transmettre au chercheur demandeur. Autour de ce rôle, on dégage chez les agents intermédiaires interrogés les points de perception suivants.

16 *Le statut de collaborateur* : les agents intermédiaires insistent sur leur statut de collaborateur et non pas d'employé, qu'ils soient directement employés par l'IRD ou mis à disposition par intermittence par leur administration de tutelle. L'agent de terrain estime que sa contribution à la recherche est suffisamment honorable pour susciter la considération professionnelle du chercheur, et ceci même dans le cas où les agents de recherche sont peu informés des attendus et des objectifs de leurs actions de recherche. Pour les agents mis à disposition de l'IRD au Mali, la collaboration avec un institut de recherche étranger est perçue comme un appui et comme un moyen d'accès en tant qu'agent de recherche à des équipements, des outils, des conditions générales de travail améliorées. Ils se disent « mis en condition ». Les difficultés économiques du pays et sa condition de pays démuni sont évoquées pour expliquer les difficultés et les frustrations engendrées par les conditions de travail, l'équipement de la recherche malienne, le niveau de rémunération public, etc.

17 *L'écoute et la disponibilité des chercheurs à l'égard des agents de recherche* : nous relevons deux types de discours. Le discours dominant considère ces deux points comme très présents au sein de l'institut de recherche, ce qui est présenté comme un atout, un avantage important dans leur vie professionnelle : « je sais qu'on m'écoute » ; « je peux dire les choses sans risques » ; « j'ai plusieurs personnes expérimentées et de haut niveau à ma disposition, c'est une chance ». A moindre fréquence, on rencontre aussi le discours inverse : « les techniciens de recherche sont marginalisés, considérés comme des exécutants, ne sont pas assez impliqués », plutôt émis par des agents pourvus d'un niveau d'étude élevé (techniciens supérieurs ou ingénieurs) ou bien – en marge de notre échantillon – par des chercheurs maliens parlant de la condition des agents de recherche.

18 *L'auto-perception positive des compétences techniques et relationnelles* : sur ce point, on notera là aussi que le niveau d'études est inversement proportionnel à la confiance en ses propres compétences. Mais de façon générale, les agents intermédiaires se disent assurés de leurs compétences, et surtout de leur propre connaissance du milieu, atout majeur par rapport aux chercheurs. Cette dimension est importante compte-tenu de la complexité des milieux naturels et sociaux du delta, que plusieurs opérations de recherche ont eu pour objectif de mettre en évidence. Elle est aussi très valorisante quand l'agent intermédiaire a participé avec les chercheurs à la mise au point de l'enquête ou du questionnaire.

19 *Le pouvoir et l'assurance de disposer d'un moyen de pression considérable* : la possibilité de rétention ou pire, de falsification des informations recueillies sont vécues comme une marge de liberté, une soupape de sécurité mais dont on déclare ne pas vouloir user. Exprimée sous des angles différents, cette notion d'exclusivité de la détention des données est présente dans presque tous les entretiens réalisés, quel que soit le niveau d'étude.

20 A partir du discours sur le rôle d'interprète-fournisseur d'informations, il ressort nettement que les agents intermédiaires de recherche se considèrent comme fortement impliqués et en même temps incontournables au sein de la filière recherche.

Le rôle de restituteur

21 Dans un troisième temps, l'agent intermédiaire va restituer à ses interlocuteurs sur le terrain l'information scientifique résultant de l'analyse des informations qu'ils ont transmises. Ce rôle n'est pas officiel, il n'apparaît pas dans le cahier des charges de l'agent intermédiaire et il est peu abordé par l'institution de recherche commanditaire de l'agent. Pourtant aux yeux de l'agent de terrain, il a une importance capitale puisqu'il lui confère la crédibilité nécessaire à la poursuite de son travail de collecte sur le même site. Selon un principe de don / contre-don, il apporte de l'information, parfois sous forme de produits ou de techniques, et il sollicite en retour les personnes-ressource à fournir à nouveau de l'information ou à faciliter un nouveau travail de relevé. Contrairement aux opérations de développement, la relation, qui s'instaure autour d'un programme de recherche, entre le terrain et l'équipe extérieure commence par un transfert de données allant des personnes-ressources au chercheur. Le sens du don est inverse de celui d'un projet de développement. L'agent intermédiaire est donc en quelque sorte redevable, dès son arrivée sur le terrain, et doit assurer cette redevance s'il veut s'intégrer à son environnement social. Le rôle de restituteur assure cette fonction en faisant passer les interlocuteurs de terrain du statut de personnes-ressource à celui de bénéficiaires des résultats de la recherche. Ce bénéfice apparaît sous la forme d'informations intrinsèquement et directement utiles (qualité de l'eau, innovation agricole, par exemple) ou par des ouvertures possibles sur des actions de développement (détermination d'un problème pouvant être résolu par tel type d'action). Dans leur discours sur ce rôle, les agents intermédiaires interrogés mettent en avant trois points.

1. Ils ont une forte conscience de l'importance de leur rôle de restituteur et de la responsabilité qui en découle vis-à-vis des populations. Cette importance est évaluée par le sentiment d'être « un acteur du développement » (terme récurrent) local, donc d'être quelqu'un d'utile à la communauté d'une part, et par la reconnaissance dont ils bénéficient, d'être un bienfaiteur.
2. Leur motivation pour assumer ce rôle est proportionnelle à leur intégration au delta intérieur du Niger. Le fait qu'ils soient ou non « du delta » (par leurs origines ou parce qu'ils y ont vécu) détermine cette motivation, laquelle relève alors d'une relation d'identité ou d'ipséité avec l'environnement humain professionnel, lié au sentiment d'appartenance, « agir pour les siens ».
3. Les lacunes de connaissances et d'accès à l'information constituent un frein pour assumer le rôle de restituteur-développeur. On constate que les agents intermédiaires, en particulier les techniciens collecteurs de données, étaient peu informés des objectifs et du contexte de leur action. Ils reconnaissent ne pas s'informer eux-mêmes assez souvent, soit parce qu'ils n'osent pas importuner les chercheurs, soit parce qu'ils n'en ont pas eu la curiosité. Ils attendent les résultats liés à leur travail avec des attitudes allant de l'agressivité ironique « si les résultats ne nous parviennent pas, nous irons les chercher » à la passivité résignée « peut-être qu'un jour on viendra me dire ».

22 Là aussi, les ingénieurs et techniciens supérieurs sont les plus demandeurs : ils sollicitent davantage d'information, et surtout davantage de formation pour assurer leur rôle de vulgarisateur. Ils avouent qu'ils ne savent pas toujours comment s'y prendre.

Les spécificités de la profession dans une zone inondable tropicale

23 Dans quelle mesure les particularités du delta, les problématiques de recherche identifiées à partir de la gestion intégrée des ressources naturelles, et enfin les impératifs et velléités de développement endogènes et exogènes, forgent-ils les caractéristiques et les exigences de la profession telle qu'elle s'y exerce ? De la conjonction de ces trois contextes (géographique, méthodologique et idéologique), il ressort les quatre caractères suivants qui permettent de souligner la spécificité des agents intermédiaires des zones inondables tropicales.

La pluralité

24 Le travail des agents de recherche dans le delta est marqué par une double pluralité : celle des disciplines de référence, celle des objets de recherche. L'approche de type « gestion intégrée des ressources naturelles » implique en elle-même cette double exigence puisqu'il s'agit d'observer les objets (les phénomènes naturels et les processus sociaux) à partir de leur diversité et de leurs interactions. La saisie de la diversité n'est pas seulement la somme des regards portant chacun sur un objet, mais aussi une vue d'ensemble permettant de voir aussi bien les objets que ce qui les relie.

25 Dans le cadre d'un programme de recherche pluridisciplinaire tel que le programme Gihrex, l'agent intermédiaire est sollicité par des chercheurs de disciplines différentes, tous demandeurs de données, d'informations et de leur mise en contexte. Ces informations concernent des objets de nature diverse, que l'agent doit aborder de façon différente selon que la commande vient, par exemple, d'un économiste ou d'un halieute. Plus encore, l'agent intermédiaire de recherche, qui travaille ou a travaillé avec des chercheurs de disciplines ou spécialités différentes, est parfois sollicité pour tirer parti des compétences ainsi acquises : il aide alors les chercheurs eux-mêmes dans leurs avancées interdisciplinaires. Dans cette combinaison d'objets et de disciplines dont l'intérêt est lié à l'ordre d'acquisition des connaissances sur les différents objets, l'agent intermédiaire de recherche doit s'adapter à la demande du chercheur[3] et doit pouvoir trouver les bons angles d'approche de l'objet. Car il n'est pas envisageable d'avoir autant d'intermédiaires que d'objets ni que de disciplines. Ainsi le programme de recherche sur la gestion intégrée dans le delta a fait suite à un important programme de recherche sur la pêche, qui avait formé et employé des agents spécialisés en recherche halieutique. Il a donc pu employer ces derniers qui ont dû alors élargir leur champ d'investigation et de connaissances aux techniques agricoles, aux pratiques commerciales du riz ou du bétail ou autres pour traiter les multiples thèmes abordés.

26 Une des caractéristiques du delta réside dans le fait que les systèmes de production paysans pratiquent, et souvent depuis longtemps, des formes d'intégration pour la gestion des ressources naturelles (Poncet et Orange, 1999). Le travail de production de connaissances doit donc en tenir compte. C'est à travers cette exigence que l'exercice de la fonction d'agent intermédiaire de recherche devient spécifique aux zones inondables exploitées. A titre de comparaison, un agent local de recherche travaillant dans une région dont le système productif est dominé par une seule production (le sud du Mali

pour la production cotonnière, par exemple) peut se concentrer sur l'amélioration culturale et se contenter d'un aperçu sur le contexte socio-économique global. Dans une zone inondable, selon les principes d'intégration qui lui sont liés, l'agent doit tenir compte de tout un ensemble de domaines pour avancer dans ses investigations et pour restituer des résultats réellement utilisables. La polyvalence – et la capacité d'adaptation qui l'accompagne – sont donc les conditions essentielles – voire même une spécificité – du métier d'agent intermédiaire de recherche, la notion d'intégration induisant en elle-même la pluralité. Dans le discours des agents intermédiaires interrogés, polyvalence et capacité d'adaptation sont d'ailleurs des qualités fortement revendiquées. Revient fréquemment l'idée de devoir être performant à la fois techniquement et humainement. Les agents dont le travail relève plutôt des sciences humaines se disent volontiers investis d'un rôle important de sensibilisation à l'approche sociale dans les méthodes de travail, vis-à-vis de leurs confrères des « sciences dures ».

Le travail à l'échelle détaillée

27 Dans la liste des critères spécifiques à la profession, l'impératif de travailler à un niveau très détaillé est lié non plus à l'aspect « intégré » de la recherche mais plutôt aux particularités de la zone inondable, laquelle multiplie les cas de figures, les phénomènes, les pratiques, les exceptions. Ainsi par exemple des stratégies de pêche : entre plusieurs campements, les critères de différenciation des phénomènes sociaux sont si nombreux qu'il est difficile d'effectuer des échantillonnages aléatoires sans risquer des erreurs d'interprétation liées à des raccourcis de mauvais aloi ou des généralisations qui rendent les résultats peu intéressants. En sciences sociales, cette diversité de situation exige un échantillonnage fin, qui est l'une des conditions pour obtenir une représentativité correcte de la population. Il a été réalisé dans le delta malien une enquête auprès des ménages effectuées au 1/10 sur une population de 30 000 pêcheurs, soit 3 000 enquêtés (Quensière, 1994). Ceci nécessite soit un nombre important d'enquêteurs (des intermédiaires de recherche), soit un temps de travail important pour un effectif limité d'enquêteurs. Dans les deux cas, le temps de travail cumulé est élevé, le budget est important, et par conséquent attend que les résultats soient à la hauteur des moyens déployés, ce qui entraîne quelques exigences quant aux performances des agents intermédiaires.

L'évolution dans le temps des objets de recherche

28 La recherche scientifique dans le delta intérieur du Niger, telle qu'elle a été pratiquée par le projet Gihrex, portait sur les évolutions, les dynamiques, et non pas seulement sur les états. Le contexte temporel des phénomènes étudiés (la liaison entre la circulation de l'eau et les systèmes de production) s'organise en trois niveaux (Poncet, 1999) : l'échelle saisonnière liée aux pluies en amont et à la crue du fleuve, l'échelle sociale de l'intensification de la production, l'échelle des phénomènes de changement climatique (la sécheresse de 1973-1993). L'observation des objets, des mécanismes et des phénomènes doit tenir compte des changements d'état rythmés par ces changements de temps. Le travail de collecte sur le terrain doit donc sa complexité à la nécessité de saisir les objets dans leurs contextes temporels multiples pour capter les variables induites par les différents niveaux. Cette caractéristique demande à l'agent intermédiaire une présence régulière et prolongée sur le terrain.

Entre acquisition des informations et actions de développement

29 Les actions de recherche qui ont servi à nos observations se situent dans un contexte fortement marqué par le discours « développement », que ce discours soit émis par l'Etat et ses représentants, par les organismes étrangers privés ou publics, ou repris par les organisations locales. Toute initiative d'acquisition technique, de nouvelles activités, de regroupement social se veut ou se dit « de développement ». Tout changement volontairement géré est automatiquement attribué à une politique de développement. Comme on l'a vu plus haut, les agents intermédiaires de recherche sont amenés à revendiquer leur rôle dans le développement, justifiant ainsi l'utilité de leur fonctions et de leurs tâches, afin d'acquérir la crédibilité nécessaire à leurs activités. Le fait de travailler en zone inondable tropicale ne demande pas nécessairement de maîtriser les techniques qui seraient spécifiques à ce type de milieu, mais exige des compétences d'adaptabilité plus grandes qu'ailleurs. Cette exigence doit être prise en compte d'une part, dans la définition des profils et dans le recrutement, d'autre part, dans les actions de formation, d'appui méthodologique et de suivi des agents.

Conclusion

30 Les trois principaux rôles de l'agent intermédiaire de recherche tels que nous les avons dégagés et les spécificités que la profession revêt dans le cadre complexe des travaux sur une zone inondable, met en évidence l'importance de ce métier, maillon important dans la chaîne de la recherche. Ce métier-clé constitue l'une des articulations sociales entre la recherche (ses disciplines, ses approches, ses outils) et le développement, qui passe ici par les applications de certains aspects de la recherche. Il apparaît que ce métier gagnerait à être mieux pris en compte, mieux structuré et mieux développé dans la mesure où il s'intègre dans un contexte marqué par plusieurs objectifs concourants, à savoir :

- la volonté affichée par les politiques et les scientifiques d'appliquer les résultats de la recherche dans l'option du développement durable ;
- la décentralisation effective des pouvoirs de l'État, et donc la valorisation des pouvoirs, compétences et atouts locaux ;
- la consolidation des aspirations de développement par des connaissances environnementales sur la complexité biophysique et sociale d'une zone inondable telle que le delta intérieur du Niger.

31 Nous proposons ici quelques pistes pour favoriser la mise en valeur de la profession d'agents intermédiaires de recherche, propositions pouvant être élargies aux agents locaux de développement.

- *Gérer et organiser la profession de façon visible en lui attribuant un statut et en mentionnant son existence dans les textes officiels* : cette reconnaissance éviterait de laisser aux seuls organismes de développement extérieurs (organisations internationales, bilatérales et non gouvernementales, collectivités publiques et privées, associations) les initiatives sur la pratique et l'évolution de ce métier. Nous pensons aux aspects déontologiques aussi bien que méthodologiques. Pour cela, il semble indispensable que le milieu de la recherche scientifique nationale d'une part, les institutions locales d'autre part, se mobilisent et se concertent pour s'approprier le suivi de la profession.

- *Réfléchir au recrutement et à la formation en donnant la priorité au niveau local* :
  - conception de programmes de formation adaptés aux particularismes des zones inondables en tenant compte d'une approche nécessairement plurielle, privilégiant la sensibilisation à la pluridisciplinarité et à la notion de gestion intégrée des ressources naturelles et humaines, et capables de répondre aux besoins permanents d'acquisition de connaissances ;
  - ouverture de promotions professionnelles pour les agents intermédiaires, d'une part en favorisant l'accès à des postes de plus grande responsabilité (dans la recherche ou dans des programmes de développement publics ou privés), d'autre part en prévoyant leur remplacement à partir de critères de recrutement bien définis ;
  - accès aux lieux de concertation tels que commissions régionales et nationales, collectifs d'organismes de développement, observatoires, etc. ; les agents intermédiaires seraient amenés à partager les informations et connaissances acquises sur le terrain, récupéreraient des informations et des données utiles à leurs travaux, ce qui a assurerait une articulation permanente ou régulière entre le monde de la recherche et celui du développement. L'intermédiarité se comprendrait ainsi sous l'angle du parcours professionnel individuel. Il en résulterait une systématisation de l'acquisition d'expérience de terrain chez les cadres locaux de développement et de recherche, une sorte de passage obligé mais aussi un débouché pour de jeunes diplômés ressortissants de la région étudiée.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bierschenk T., 1988 – Development projects as an arena of negotiating for strategic groups. *Sociologica Ruralis,* 28 : 146-160.

Gaillard J., 1996 – *Coopération scientifique et technique avec les pays du Sud : peut-on partager la science ?* Paris, Karthala, 237 p.

Gaillard J., Waast R., 2000 – « L'aide à la recherche en Afrique subsaharienne : comment sortir de la dépendance ? » *In : Survivre grâce à... Réussir malgré... l'aide,* Autrepart, 13 : 71-89.

Mathieu M.-L, 1994 – *Interaction entre population tamasheq de Tin Aouker, Tilemsi en 7e région du Mali et trois interventions d'ONG.* Mémoire EHESS, Marseille, 185 p.

Noray M.-L. (de), 2000 – « L'aide française vue par des agents de développement maliens ». *In* Lecomte B. J., Naudet J.-D. (éd.) : *Survivre grâce à... Réussir malgré... l'aide,* Autrepart, 13 : 109-125.

Olivier de Sardan J.-P., 1995 – *Anthropologie et développement.* Paris, Apad, Karthala, 221 p.

Olivier de Sardan, J.-P., Paquot E., 1991 – *D'un savoir à l'autre : les agents de développement comme médiateurs.* Paris, Gret-Ministère de la Coopération, 204 p.

Poncet Y., 1999 – « Une lecture temporelle de la pêche au Mali ». *In* Poncet Y. (éd.) : *Les Temps du Sahel,* Paris, IRD : 27-35.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées, l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

Quensière J., (éd.), 1994 – *La Pêche dans le delta central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Raynaud C, 1989 – L'opération de développement et les logiques du changement, la nécessité d'une approche holistique : l'exemple d'un cas nigérien. *Genève Afrique,* 27 (2) : 8-38.

NOTES

1. Ce qui n'est pas habituel, les intermédiaires de la recherche n'ayant souvent qu'un statut temporaire reconnu dans le programme de recherche qui finance leur travail, mais pas toujours dans les structures qui les commandent.
2. A propos des agents intermédiaires sous la colonisation, nous trouvons dans l'œuvre littéraire d'A. Hampaté Bâ une approche psychosociologique de la profession tout à fait éloquente, notamment dans les circonscriptions du delta intérieur du Niger.
3. Au sens générique de l'institution de recherche : une équipe, un individu.

AUTEUR

MARIE-LAURE DE NORAY

Sociologue. 4 rue Germain, 34000 Montpellier, France,

La gestion des zones inondables par les collectivités locales

Le cas du delta du Sénégal

Patrick d'Aquino, Seydou Camara et Babacar Diop

1 Depuis l'indépendance du pays, la législation sénégalaise est progressivement allée vers la décentralisation des pouvoirs pour une gestion des affaires locales par les structures de base. Mais, c'est seulement en 1996 qu'un pas décisif a été fait avec la loi 96-06 qui transfère aux collectivités locales neuf compétences, dont le foncier et l'environnement. Le programme d'appui aux collectivités locales pour la gestion de l'espace rural est le cadre mis en place par un cercle de partenaires constitué par la Saed, l'Isra-PSI[1] et les communautés rurales de la vallée du Sénégal pour trouver des réponses à la situation instaurée par cette loi (d'Aquino, 1997). Le mérite de la réforme réside dans son caractère globalisant permettant aux collectivités locales (ici les communautés rurales) de prendre en charge à la fois le foncier et les ressources naturelles (eau, faune et flore) qui s'y trouvent. En effet, nombre d'expériences de gestion décentralisée de ressources naturelles en zone tropicale ont été limitées par leur caractère partiel, notamment par l'absence de décision réelle sur le foncier : gérer la forêt ou mettre en œuvre un plan d'aménagement sur des terres relevant d'un autre centre de décision constitue, sans doute, un paradoxe pour les collectivités locales et les populations. La question posée suite à la loi de 1996 est de savoir comment appuyer les nouveaux gestionnaires des terroirs.

Les ambiguïtés de l'approche participative

2 Les expériences de gestion décentralisée des ressources ont encore un bilan mitigé, marqué en particulier par l'interventionnisme directif des services d'appui (structures étatiques, ONG, institutions internationales), souvent masqué sous un discours participatif. En fait, une grande partie du problème est dû à l'ambiguïté constitutive du concept de participation. D'abord simple outil de recueil participatif d'information (Hildebrand, 1981 ; Rhoades, 1982), il a progressivement intégré une activité de plus en

plus grande des locaux (Bates, 1987 ; Farrington et Martin, 1988 ; Chambers, 1992), dans la mise en œuvre de méthodes toujours plus formalisées de diagnostic rapide pour la construction de la concertation avec les populations rurales. Dans le domaine de la recherche, les formes ont évolué avec la recherche-action (Avenier, 1992), la recherche-développement, la recherche interactive[2] (Girin, 1987) et, plus récemment, la recherche-intervention[3] (Lémery *et al.*, 1996 ; Lémery *et al.*, 1997 ; Barbier, 1998), autant de formes de plus en plus profondes de reconnaissance réciproque et d'implication directe des acteurs dans le processus de recherche. Dans les milieux du développement, l'approche participative a rapidement dépassé le diagnostic pour s'instituer en méthode d'intervention (Anonyme, 1990 ; Ellsworth *et al.*, 1992), pour aboutir à divers outils de planification locale du développement (Scoones et McCracken, 1989 ; Ellsworth *et al.*, 1992 ; Collectif, 1993 ; Clouet, 1993 ; Berthomé et Mercoiret, 1993 ; Hovdenak, 1993 ; Scoones et Thompson, 1994 ; Pretty *et al.*, 1995 ; Waters-Bayer et Bayer, 1995).

3 Ces évolutions ont permis la mise au point de supports techniques de dialogue, de concertation et de communication entre les populations et l'encadrement. De nombreux outils, s'appuyant sur des disciplines différentes, ont été expérimentés et finalisés. Le dialogue participatif a puisé dans les enquêtes socio-anthropologiques en les simplifiant. Des méthodes « à dire d'acteurs », associant diagnostic participatif, outils de représentation de l'espace et diffusion de l'information technique, ont été progressivement mises au point (Brunet, 1987 ; Caron et Mota, 1996 ; Tonneau *et al.*, 1998). Il s'en est suivi des formations à grande échelle d'animateurs capables de les utiliser dans leur appui au monde rural. Des réseaux de formation et d'échanges se sont créés et ont permis d'améliorer et de diffuser ces méthodes. De nombreux bilans de ces travaux ont aussi été publiés (Karsenty, 1991 ; Collectif, 1993 ; Gagnon, 1994 ; Schönhutch et Kievelitz, 1994 ; Waters-Bayer et Bayer 1995 ; Houée, 1996 ; Winter, 1998). Malgré ces avancées méthodologiques, la question de la pérennité et du changement d'échelle de ces expériences se pose toujours avec acuité. Les approches participatives privilégiant le diagnostic et la planification (*"rapid rural apprais al., participatory rural appraisal"*, « méthode accélérée de recherche et de planification participative ») mobilisent de lourdes équipes pluridisciplinaires d'animateurs ruraux pour atteindre deux grands objectifs : d'une part, établir un échange constructif d'informations et de perceptions entre l'encadrement et les populations, et d'autre part, organiser une planification participative du développement local.

4 Le diagnostic participatif est tout aussi critiquable comme seul outil de planification. Il combine la double contrainte d'une lourdeur de l'appui interdisciplinaire, qui empêche la démultiplication des opérations de planification, à une qualité insuffisante de l'appui technique qui est fournit aux populations. En effet, si l'on veut réellement s'attaquer à une véritable planification globale et durable du développement local (enjeu peu approché jusqu'ici), ces adaptations simplifiées de l'enquête interdisciplinaire, effectuées par des animateurs ruraux manquant évidemment de compétences disciplinaires, constituent une expertise externe de qualité insuffisante. Les services de l'encadrement technique et l'administration territoriale locale ne sont pas souvent partie prenante de ces opérations, qui sont la plupart du temps effectuées en parallèle des circuits classiques de vulgarisation et d'appui au développement. Ceci réduit fâcheusement la pérennité de ces expériences locales de planification. On se retrouve ainsi avec une idéologie inversée par rapport aux premiers pas des démarches participatives dans les années soixante-dix : les compétences locales sont réhabilitées (Leach, 1991 ; Hope et Timmel, 1984 ; Reijntjes *et*

al., 1995), mais elles ne sont soutenues que par une version très allégée de l'appui technique et institutionnel dont elles ont besoin. Même lorsque les approches se penchent essentiellement sur les processus plutôt que sur les outils (Par, Delta, Graap)[4], le processus de changement et d'apprentissage n'a concerné qu'une faible partie de l'environnement institutionnel local[5] : une fois le « projet » ou l'intervention achevés, rares sont les dynamiques locales qui se perpétueront. Les acteurs locaux, habitués à une co-animation du processus, ont beaucoup de mal à poursuivre seuls leur réflexion ; c'est donc là une méthode d'apprentissage insatisfaisante.

5 Pourtant pour réussir, la planification locale du développement nécessite trois éléments :

- *une planification décidée de façon concertée par les acteurs locaux,* ce que réussit l'approche participative ;
- *un conseil technique interdisciplinaire de qualité,* réunissant toutes les compétences mobilisables localement dans une démarche rigoureuse d'appui-conseil, ce qui dépasse les capacités du diagnostic participatif ;
- *une évolution des comportements de tout l'encadrement institutionnel local* (et non simplement ceux des animateurs), sur laquelle ne s'est pas assez penchée l'approche participative. La question institutionnelle n'est pas abordable par le diagnostic participatif qui s'intéresse uniquement aux populations locales et pas aux autres acteurs institutionnels (collectivités locales élues, administration territoriale, services techniques).

6 La « méthode participative », telle qu'employée sur le terrain, se résume souvent à des exercices au cours desquels les acteurs locaux valident les analyses des experts et y apportent une légère contribution. Il faut dire qu'on ne participe pas de manière neutre. Un agent extérieur, avec sa propre perception et ses méconnaissances du milieu, participe toujours activement – même si cela peut être inconscient – au processus de réflexion, et donc de décision. L'autonomie des acteurs locaux n'est donc pas réelle, que ce soit dans la formulation de leurs problèmes, dans le choix de leurs priorités ou dans leurs prises de décision.

7 Les difficultés à poursuivre la dynamique sans les animateurs en est une première illustration. Les conseils donnés à l'animateur (Déclaration de Brighton, 1994 ; Waters-Bayer et Bayer, 1995) d'être sensible aux luttes de pouvoir entre les différents groupes, de sélectionner les doléances[6] locales, d'effectuer une analyse fine du contexte social loc al., en sont une seconde illustration.

8 L'animateur a un rôle central dans la démarche. Il peut influencer, positivement ou négativement, le processus de concertation (Scoones et Thompson, 1994). Le concept de la participation est celui du partage entre deux groupes – les extérieurs et les locaux – mais pas celui de l'autonomie locale[7] : « la Marp est une partie d'un processus activiste qui entraîne (...) un soutien continu à la population locale » (Waters-Bayer et Bayer, 1995).

9 Les tenants des approches participatives ne pensent pas qu'une dynamique locale puisse s'affirmer sans accompagnement extérieur[8] ; malheureusement, cette présence extérieure condamne définitivement la démarche à n'être que participative dans le meilleur des cas, et inconsciemment dirigiste dans la plupart des autres. Une démarche complémentaire est alors nécessaire au niveau institutionnel afin de faciliter l'émergence de dynamiques locales autonomes, lesquelles solliciteront de manière adéquate l'encadrement technique qui, pour ainsi dire, vient participer.

10 Une démarche de planification locale autonome et responsable est, par définition, endogène. Elle se fait par l'apprentissage de l'autonomie. Démarche et apprentissage sont alors à la source d'un flot de questionnements relatifs à leur mise en œuvre.

11 Comment faciliter l'émergence d'une dynamique autonome de gestion locale ? Comment contribuer à ce que cette gestion locale s'appuie sur l'intégration de tous les acteurs locaux, et pas seulement sur une petite élite de notables ? Comment amener les services et les décideurs du développement à prendre réellement en compte les responsabilités locales ? Comment organiser un appui efficace et durable de l'État et de l'encadrement technique envers les collectivités locales ? Enfin, comment asseoir cette dynamique de gestion avec des moyens d'appui raisonnables, à une échelle régionale et non plus micro-locale ?

12 Il est certes paradoxal que ces questions soient restées sans réponse après les quatre décennies qui ont vu l'émergence et le développement de l'approche « développement local » dont l'enjeu consistait justement à installer des dynamiques locales durables (Nguinguiri, 1998).

Nouveaux principes pour une gestion décentralisée des ressources naturelles

Les hypothèses

13 Une nouvelle démarche est ainsi expérimentée dans la vallée du fleuve Sénégal. Elle est appliquée sur le delta du fleuve (3 500 km^2), car celui-ci rassemble, et de façon plus aiguë, les multiples enjeux de gestion des ressources renouvelables qui se posent ailleurs dans la vallée. La finalité de l'expérience étant de tester une approche totalement opérationnelle, le choix a été fait d'intervenir dès le départ à un niveau de décentralisation suffisamment large. C'est pourquoi la communauté rurale de Ross Béthio, qui couvre plus de 70 % du delta – soit 2 500 km^2 – a été retenue. Elle présente l'avantage de rassembler les différentes situations géographiques présentes dans la vallée : larges espaces dépressionnaires de zones humides (environ 1 000 km^2), dont le quart est aménagé pour l'agriculture irriguée, essentiellement du riz ; zone pastorale d'environ 1 000 km également, sur sols sableux en deçà de la zone humide. Ces deux types de milieux contiennent des sites à haute valeur ajoutée sur le plan naturel : le « Parc national des oiseaux du Djoudj » et la « Réserve de faune du Ndiael ». En sus de rassembler ces situations caractéristiques de la vallée du fleuve, la communauté rurale de Ross Béthio présente des traits spécifiques qui accentuent encore la complexité de sa gestion. Son territoire contient ainsi le plus grand lac d'eau douce du nord du pays : le lac de Guiers qui alimente Dakar en eau potable *via* plusieurs centaines de kilomètres de conduites, et qui est le site d'une exploitation concurrente par l'agro-industrie sucrière et d'une conserverie de tomates. Le territoire de la commune contient également des agricultures paysannes, irriguées et de décrue, l'élevage et la pêche artisanale. C'est la communauté rurale la plus peuplée de la vallée (315 villages, soit environ 40 000 habitants en 1988), celle qui connaît les plus fortes dynamiques socio-économiques et agricoles. La chasse privée y est exceptionnellement bien représentée par rapport au reste de la région, que ce soit pour l'avifaune des zones humides ou le petit gibier de savane. Ainsi, cette communauté rurale, à la fois par sa taille, par sa position dans le delta, par la multiplicité des types d'exploitation qu'elle connaît et par l'importance capitale de ses zones humides,

constitue un espace idéal pour tester une approche opérationnelle en matière de gestion décentralisée de ressources renouvelables. Le conseil rural de Ross Béthio a été renouvelé lors des élections municipales et rurales intervenues à la suite de la loi de 1996, il a changé de président et a accueilli de nouveaux membres. La nouvelle équipe de trente deux conseillers ruraux rassemble les différents groupes ethniques et socio-professionnels (Peuls agro-pasteurs et pasteurs, Wolofs agriculteurs, Maures éleveurs et commerçants) mais aussi des vieux notables (dirigeants des premières coopératives) et des jeunes, dont quelques-uns sont issus du mouvement associatif populaire plus récent. Jeunes ou vieux, agriculteurs ou pasteurs, les conseillers représentent, avant tout, leur terroir d'origine dans le conseil rural. Ce conseil a manifesté la volonté de faire la différence par rapport à l'ancienne équipe par des réalisations « développementalistes ».

14 L'hypothèse qui fonde notre approche est que les difficultés rencontrées actuellement dans la gestion décentralisée de l'espace rural ne sont pas dues intrinsèquement à un déficit de compétences des gestionnaires locaux mais à une attitude condescendante et dirigiste de la plupart des services d'appui, quels qu'ils soient : structures étatiques, ONG, institutions internationales. En effet, tous sont inconsciemment dévoués à une approche technocratique de la gestion locale. Dans le meilleur des cas, leur mission est de transmettre aux populations les réponses techniques dont elles ont besoin pour bien gérer leur patrimoine ; dans le pire, ils proposent aux populations des solutions adéquates de leurs savoirs et de leurs diagnostics externes.

15 L'opération pilote Poas (*Plan d'occupation et d'affectation des sols*) expérimentée dans le delta du Sénégal depuis 1997 est basée sur d'autres principes. Tout d'abord, elle considère que la gestion locale des ressources naturelles renouvelables est une action complexe dans laquelle les contraintes techniques sont rarement les causes premières des difficultés. Ainsi, personne d'autre que les populations locales ne peut mieux intégrer les différentes dimensions sociales, anthropologiques, politiques et autres qui se cachent derrière toute question de gestion locale de l'environnement. Elle considère ensuite qu'il n'existe pas de solutions ni de démarches miracles qui soient applicables ou imposables à toutes les situations. Le partenariat traditionnel avec les services d'appui (expertise technique, démarche participative, co-gestion...) est ici profondément remis en cause. Plutôt que de laisser l'encadrement technique rechercher une solution de gestion avec ou à la place des populations – c'est-à-dire sans la connaissance nécessaire des mécanismes et des facteurs locaux essentiels –, l'opération pilote Poas a préféré aider les collectivités locales à acquérir rapidement, avec l'appui des services techniques, la connaissance et l'expérience nécessaires pour rechercher de manière autonome les solutions à une gestion locale de leurs ressources. Le premier objectif n'est plus d'établir des plans de gestion avec les populations, mais d'aider les organisations locales à affirmer et accroître rapidement leurs compétences afin de bâtir, d'elles-mêmes et progressivement, une politique durable de gestion des ressources. Le concept qui est au centre de la démarche, l'apprentissage sur deux à trois années d'intervention, ne concerne alors pas seulement les populations locales ; il vise aussi – et peut– être surtout – l'ensemble de l'environnement institutionnel loc al., y compris les animateurs. Chaque acteur doit trouver sa nouvelle place dans un processus qui laisse la liberté de décision aux responsables locaux, les autres partenaires se plaçant en conseillers techniques, en informateurs ou en formateurs.

16 La seconde hypothèse est que la réussite d'une dynamique locale de planification territoriale correspond à la réussite d'une gestion commune de l'usage des ressources,

quel que soit leur mode d'appropriation. Une planification territoriale efficace et durable est un processus de gestion de ressources, envisagé sous l'angle d'une régulation collective de leurs usages, quel que soit le mode d'appropriation qui peut les régir. L'appropriation est différente de la gestion. Nous sommes donc dans le cadre des modes de gestion des ressources renouvelables qui consistent en un pilotage de l'utilisation de ces ressources pour un renouvellement de leurs potentialités d'utilisation (Hubert et Mathieu, 1992). Le mode de prise de décision, l'organisation collective, les formes de régulation sont donc envisagées dans le cadre de ce paradigme qui débouche sur les principes suivants de la méthode :

- les modes d'accès sont plus importants que les limites spatiales ;
- il n'y a pas nécessairement travail sur les droits de propriété mais plutôt sur les modes de gestion.

17 Installer durablement une dynamique autonome de concertation pour le diagnostic, la décision et l'action concernant le développement d'un territoire correspond à l'activation ou à la réactivation de tout un système social complexe, entreprise devant laquelle les interventions auraient dû faire preuve de plus de modestie.

18 Comme l'illustrent les multiples dérives des dernières décennies, une telle évolution sociale est si ambitieuse et si délicate qu'on ne peut raisonnablement l'initier à partir d'une intervention volontariste extérieure, quelle qu'elle soit : il est indispensable de s'en remettre aux acteurs locaux. Le changement d'échelle d'un appui au développement local est de toutes façons à ce prix. Seule une dynamique réellement endogène pourra se démultiplier à une échelle régionale.

La finalité de l'appui : une capacité locale de gestion plutôt qu'une planification assistée

19 L'objectif n'est plus d'obtenir, en partenariat avec des représentants locaux, des actions de gestion et de planification, mais de mettre en place des organisations locales capables de les réaliser elles-mêmes, maintenant et plus tard. L'environnement institutionnel devenu favorable permettra alors des prises de décision locales qui seront reconnues et soutenues par tous les acteurs institutionnels. L'animation institutionnelle est ainsi essentielle, et ses objectifs peuvent être décrits de la façon suivante :

- la reconnaissance et le soutien des responsabilités de gestion des collectivités locales par tous les acteurs institutionnels ;
- l'installation pérenne, au niveau des collectivités locales puis régionales, d'un pôle de négociation[9] avec les partenaires, de concertation avec les populations et d'affirmation de compétences pour la gestion des ressources renouvelables (le "*empowerment*" anglophone) ;
- l'émergence totalement endogène d'une planification décentralisée du développement par les collectivités locales et régionales en concertation avec l'administration et les services techniques.

20 Il s'agit donc de construire la « capacitation » des représentants locaux des populations, c'est à dire avoir des représentants :

- dont les attributions soient reconnues et appuyées (pas seulement dans les textes) par tous les services techniques, par l'administration et par les populations ;
- qui aient accès à l'information et à la connaissance pour prendre leurs décisions ;
- qui aient acquis les compétences nécessaires à la gestion.

21 Il est alors important de constater que donner la priorité au développement de capacités locales bouleverse les schémas habituels d'appui à la gestion locale du territoire, en particulier à l'intérieur des deux thèmes abordés habituellement dans ce type de démarche, à savoir la sécurisation foncière et la planification du développement local.

La démarche expérimentée

22 La gageure est d'organiser une démarche qui soit opérationnelle, qui exige peu de moyens et qui réussisse dans un temps limité. Cette démarche doit rendre les collectivités capables de jouer pleinement leur rôle dans la gestion de leur territoire. Développer les capacités des collectivités dépasse le simple transfert de connaissances. Tout le cadre institutionnel (administration, encadrement technique, recherche, élus, population) doit apprendre son nouveau rôle dans une action de décentralisation et s'exercer à travailler autrement. Cela nécessite aussi que les collectivités locales intègrent les enjeux techniques mais aussi sociaux et politiques d'une décision collective sur la gestion des ressources. Enfin et surtout, la dynamique déclenchée par l'opération doit être durable et se poursuivre seule à la fin de l'appui. C'est là que se trouve le déficit de la plupart des approches participatives et c'est essentiellement là-dessus qu'il y a des progrès à faire. Pour atteindre cet objectif, le choix a été fait de commencer par faire prendre en charge un exercice collectif de gestion par les conseils ruraux : réaliser un premier plan d'occupation et d'affectation des sols. Au Sénégal., l'entrée par cet exercice d'apprentissage avait plusieurs avantages. D'abord, elle correspondait aux textes et politiques officiels. Ensuite, elle permettait aux élus de s'atteler à la fois aux problèmes d'organisation et de concertation internes et aux relations d'appui-conseil à bâtir avec l'encadrement technique. Enfin, elle valorisait le système d'information géographique de la « Société d'aménagement et d'exploitation des terres du delta » du Sénégal (Saed) en lui donnant une nouvelle fonction au service de la décentralisation.

23 La gestion globale et durable des ressources d'un territoire est une finalité complexe. Il en est de même pour le « repositionnement » de chaque acteur de l'environnement institutionnel local. C'est pourquoi le choix a été fait d'un apprentissage par la pratique, la meilleure façon d'appréhender ses nouvelles responsabilités étant d'agir. L'écueil principal de ce type d'appui étant dans la pérennité et l'autonomie des dynamiques locales mises en place, il est fondamental que tous les acteurs intègrent réellement leurs nouvelles responsabilités et qu'ils s'approprient toutes les facettes de leur nouveau rôle. C'est pourquoi, plutôt qu'un transfert brut et directement complet d'une pratique de planification, le choix a été fait d'un apprentissage progressif qui reporte la planification globale du développement du territoire à l'étape finale de la démarche, afin d'intégrer plus sûrement et plus profondément les appuis prodigués. Ainsi, les principes méthodologiques visent l'instauration et la poursuite d'une dynamique locale conduite de manière autonome par les responsables élus des collectivités locales. Ces derniers doivent avoir une maîtrise totale des thèmes de travail et des différentes étapes de la démarche, avoir l'initiative de la concertation interne et externe pour la prise de décision, et enfin recevoir et adapter les connaissances fournies par les services d'appui au fur et à mesure de l'apparition des besoins.

24 Pour apprendre à chaque acteur sa nouvelle place, et en particulier pour modifier les relations entre les services techniques et les collectivités locales, il est important de commencer la démarche par des actions qui permettent une autonomie de décision

maximale des collectivités par rapport à l'encadrement technique. C'est pourquoi doivent être mises en avant toutes les décisions qui ne nécessitent pas que l'expertise technique participe à la prise de décision par la collectivité locale, autrement que par la simple mise à disposition d'informations. L'appui-conseil technique n'interviendra qu'ensuite, en aval de la démarche, lorsque les différents protagonistes auront assumé leur nouveau rôle et auront acquis les potentialités de réflexion et de prise de décision collective nécessaires à l'instauration d'un véritable partenariat. La phase initiale, où le conseil technique est en retrait, aura aussi contraint l'expertise technique et le pouvoir central à une évolution de leur comportement vis-à-vis du processus de décision. Elle aura enfin permis aux populations d'installer en amont un cadre stratégique de développement local davantage axé sur leurs propres aspirations. Le conseil technique pourra intervenir ensuite, en particulier sur les décisions d'aménagement du territoire et les innovations techniques, en outrepassant moins ses missions. Ainsi, en deux ou trois ans, les collectivités locales qui ont effectué leur premier exercice de mise en place d'un plan d'occupation des sols (Pos) devaient être « capables » de se débrouiller seules pour la gestion de leur terres, que ce soit pour leur concertation interne, leurs relations avec l'encadrement technique et administratif et leurs analyses des problèmes. La méthode expérimentée a ainsi été calée sur ces enjeux : choix des thèmes de travail par les élus, réalisation du travail par les élus, fourniture de connaissances par l'encadrement au fur et à mesure de l'apparition des besoins.

25 Trois ans après le début de l'opération, on observe les premiers résultats : le conseil rural a repris à son compte depuis plus d'un an le processus Poas de façon entièrement autonome et poursuit seul la démarche ; de plus, il est devenu capable de faire reconnaître ses responsabilités, que ce soit auprès de la recherche (modification de la programmation de la recherche après son intervention vigoureuse), du développement (renégociation d'un grand ouvrage hydraulique imposé) et de l'administration (affirmation nette de son autonomie vis-à-vis de l'administration territoriale). Mieux, cette méthode d'apprentissage progressif et autonome a permis au conseil rural d'innover, d'inventer et d'aborder seul de nouvelles idées, de nouvelles étapes après seulement deux ans d'appui. Son apprentissage de la gestion des terres l'a amené à évoquer de lui– même et sans intervention ou suggestion extérieure, le besoin d'un remembrement foncier et d'un plan de gestion de ses espaces environnementaux, deux thèmes (surtout le premier) qui étaient tabous il y a deux ans. Et au niveau de son organisation interne, le conseil rural est arrivé à un stade de maturité qui lui a permis de décider, toujours de lui-même et sans intervention ou suggestion extérieure, de créer un corps d'animateurs ruraux pour l'application de ses décisions sur la gestion des terres.

26 La réalisation d'un premier Poas par le conseil rural de Ross Béthio et l'autonomie dont il a été capable avant la fin de la deuxième année d'expérimentation, confirment que l'objectif programmé a été atteint. Le conseil rural a déjà défini différentes zones d'usages de son terroir ainsi que des règles pour leur gestion. Ces premiers résultats sont très encourageants.

27 Le second objectif de l'expérience consistait à apprendre à l'encadrement technique et scientifique local à travailler autrement. Pour la réalisation de l'opération, la contractualisation du partenariat entre le conseil rural., la Saed et l'Isra (« Institut sénégalais de recherche agronomique ») a été une innovation majeure dans la démarche, avec dès le départ une définition claire des objectifs et des rôles et engagements de chaque partie. Les collectivités locales ont ainsi été les maîtres d'œuvre, officiellement

mais aussi effectivement, de toutes les étapes de la démarche qui a évolué au gré de leurs aspirations. Cette contractualisation claire a favorisé une synergie des moyens et des compétences, facilité l'évaluation en cours des activités, et permis de situer à chaque moment les responsabilités éventuelles des uns et des autres. Cependant elle n'a pas suffi à supprimer la contrainte principale rencontrée au cours de cette phase pilote : une difficile évolution du comportement des services d'appui technique et scientifique. Pour des raisons diverses (moyens insuffisants, organisation déficiente, lenteur des procédures internes, mentalité technocratique...), ces acteurs ont été les plus difficiles à mobiliser. La nécessaire évolution de l'encadrement technique et scientifique des populations n'est pas encore totalement atteinte.

Conclusion

28 L'évolution de l'encadrement technique et scientifique des collectivités locales, ONG comprises, est beaucoup moins rapide que celle des élus et de la population. Ainsi, les agents de ces services (Saed, Isra, université) qui étaient convaincus au départ de la démarche (et qui ont permis qu'elle existe) le sont restés, mais peu de nouveaux ont intégré les rangs. Or pour réussir une approche opérationnelle de décentralisation administrative et politique et de libéralisation économique, le conseil technique et scientifique doit accepter de se placer en appui-conseil pour répondre à une demande et apprendre à ne pas la formuler lui– même. L'amélioration du partenariat avec les collectivités locales constitue un enjeu fondamental pour le développement durable et intégré de l'irrigation paysanne dans un contexte de décentralisation. Les institutions et les personnes animant l'opération ont été conscientes, dès le départ, des enjeux que représente cette évolution de leur rôle et de la forme de leur partenariat avec les acteurs locaux. Au nombre de ces enjeux figure la nécessaire remise en cause des positions hégémoniques – confortables et directives –, habituelles aux animateurs, techniciens et scientifiques vis-à-vis des populations de la base.

29 Il s'agit de tout un processus pratique d'apprentissage mutuel à construire, à expérimenter et à évaluer. Sur ce point, des écueils restent à lever. Ces dernières années, le contexte de la préservation des zones inondables tropicales est marqué par la double influence de la libéralisation économique avec un désengagement de l'État, et de la décentralisation politique. Les transferts de fonctions et de responsabilités aux acteurs locaux qui en découlent postulent une remise en cause des approches technicistes et centralisées des politiques de conservation, d'aménagement et, plus globalement, de développement durable. Face à ce nouveau contexte, l'absence ou la faiblesse d'un partenariat véritable entre structures techniques et collectivités locales conduit à des conséquences inquiétantes : programmes d'aménagement sectoriels et restrictifs, pratiques foncières locales incohérentes, dysfonctionnements graves des périmètres irrigués, compétition exacerbée entre les différents usages pour l'accès à l'eau, dilapidation du capital environnemental des zones inondables.

30 Cette situation peut hypothéquer fortement l'avenir, d'autant plus que ces services ou ces ONG sont paradoxalement les bailleurs de fonds directs ou indirects des opérations d'appui aux collectivités locales. C'est par eux que transite l'essentiel des fonds destinés à l'appui aux populations. Ainsi, l'opération pilote a été soutenue financièrement par la Saed sur fonds publics et de projets, et par l'Isra *via* le PSI. Ailleurs, ce sont des ONG internationales qui mobilisent et gèrent les fonds destinés à la gestion décentralisée des

ressources. Les difficultés internes, les mentalités dirigistes cachées sous un discours participatif ou les lenteurs au sein de ces institutions se répercutent directement sur les activités dont les collectivités et les populations locales doivent être les bénéficiaires. Comment une collectivité territoriale ou une organisation paysanne peuvent-elles alors se poser en maîtresses d'œuvre d'un travail d'appui effectué par des services qui financent entièrement les actions ? Après la mise en place de la décentralisation et de la libéralisation, le transfert aux organisations locales de la gestion des fonds destinés à l'appui technique – ou voire une délégation progressive – ne constituent– ils pas une étape aujourd'hui nécessaire pour un appui plus opérationnel et plus efficace aux populations et collectivités ? Quels appuis fournir, quelles compétences et quelles mécanismes concevoir et développer alors au sein des collectivités locales et des organisations professionnelles ? Face à une question aussi complexe que la gestion locale d'un espace naturel, dont les enjeux environnementaux, économiques et sociaux sont multiples, seule une dynamique réellement endogène et seule une instance locale de décision peuvent parvenir à identifier et négocier une politique de gestion qui perdurera après l'intervention extérieure. Mais cette démarche répond implicitement à une question de fond qui ne nous semble pourtant pas encore réglée dans les démarches habituelles d'intervention : qui a légitimité pour décider de l'avenir d'un espace environnemental sensible non classé ? Les usagers locaux, l'État et ses services techniques ou les instances internationales ? Pour notre part, nous y avons répondu sans ambiguïté, et l'efficacité des populations locales a été au rendez-vous. Mais l'encadrement de ces populations, depuis l'animateur local jusqu'aux instances internationales, ne semble pas souvent prêt à réaliser, ailleurs que dans les discours, ce transfert de responsabilité et de légitimité.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Anonyme, 1990 – *Participatory rural appraisal handbook : conducting PRA's in Kenya.* Center for international development and environment, World resources institute, Egerton university, Clark university, National environment secrétariat, Washington D. C.

Aquino P. (d'), 1997– *Décentralisation et gestion locale des ressources : l'opération pilote sur les plans d'occupation et d'affectation des sols pour la vallée du fleuve Sénégal.* Rapport de présentation de la démarche, Cirad, Montpellier, 31 p.

Avenier M. J., 1992 – Recherche-action et épistémologies constructivistes, modélisation systémique et organisations socio-économiques complexes. *Revue internationale de systémique,* 4 : 403-420.

Barbier M., 1998 – *Pratiques de recherche et invention d'une situation de gestion d'un risque de nuisance : d'une étude de cas à une recherche- intervention.* Thèse de doctorat, université Lyon-3, 420 p.

Bates R., 1987 – *Trainers manual : how to conduct a development planningand management workshop.* Washington D. C., New transcentury foundation.

Benghozi P. J., 1990 – La négociation d'une recherche : une étape clé dans la méthodologie d'intervention. *Économie et société, série Sciences de gestion,* 24 (15) : 195-209.

Berthomé J., Mercoiret J., 1993 – *Méthode de planification locale pour les organisations paysannes d'Afrique sahélienne.* Paris, L'Harmattan, 349 p.

Bierschenk T., 1988– Development project as arenas of negotiation for stratégie groups : a case study from Bénin. *Sociologia ruralis,* 28 (2/3) : 146-160.

Brunet R., 1987 – *La carte, mode d'emploi.* Paris, Fayard, 270 p.

Caron P., Mota D., 1996 – « Proposition méthodologique pour un diagnostic territorial rapide ». *In : Sém. Int. Enquêtes rapides, enquêtes participatives, la recherche agricole à l'épreuve des savoirs paysans,* Cotonou, Bénin, Icra.

Chambers R., 1992– *Rural appraisal : rapid, relaxed and participatory.* Brighton, IDS, discussion paper n° 311.

Chambers R., 1993 – Methods for analysis by farmers : the professional challenge. *J. for farming systems research.,* extension., 4 (1) : 87-101.

Clouet Y., 1993 – *Bilan des expériences de gestion de terroir et des ressources naturelles.* Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), Cirad, Montpellier, 79 p.

Collectif, 1993 – Gestion de terroir : problèmes identifiés par les opérateurs de terrain en Afrique et à Madagascar. *Travaux de recherche développement,* Cirad, Montpellier, 56 p.

Déclaration de Brighton, 1994 – Méthodes et approches participatives : partager nos préoccupations actuelles et dégager nos perspectives d'avenir ? *Relais Marp, 2 :* 25-32.

Ellsworth L., Diamé F., Diop S., Thieba D., 1992 – *Le diagnostic participatif ou participatory rural appraisal.* Praap, Dakar, 130 p.

Farrington J., Martin A., 1988 – Farmer participatory research : a review of concepts and récent field work. *Agricultural administration,* occasional paper, 9.

Gagnon C, 1994 – *La recomposition des territoires : développement local viable.* Paris, L'Harmattan, coll. Logiques sociales, 271 p.

Girin J., 1987 – « L'objectivation des données subjectives : éléments pour une théorie du dispositif dans la recherche interactive ». *In : Qualité des informations scientifiques en gestion, méthodologies fondamentales en gestion,* actes Colloque FNEGE, Iseor : 170-186.

Graap, 1987 – *Pour une pédagogie de l'auto-promotion.* Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso, Graap.

Hildebrand P. E., 1981 – Combining disciplines in rapid appraisal : the "sondeo" approach. *Agricultural administration,* 8 : 423-432.

Hope A., Timmel S., 1984 – *Training for transformation : a handbook for community workers.* Gweru, Zimbabwe, Manbo press.

Houée P., 1996 – *Les politiques de développement rural.* Inra, Economica, 136 p.

Hovdenak E. M., 1993 – Participatory action research for self-relient participatory development. *Cultures and development,* 4 (12) : 11-12.

Hubert B., Mathieu N., 1992 – « Potentialités, contraintes, ressources : récurrence ou renouveau bien tempéré ? » *In* Jollivet M. (éd.) : *Sciences de la nature, sciences de la société : les passeurs de frontières,* Paris, CNRS : 307-320.

IIED, 1994 – "Resource tenure and natural resource management". *In : Dryland Africa : a policy oriented programme of collaborative research,* London, MED, programme Zones arides.

Karsenty A., 1991 – *Décentralisation et gestion des ressources naturelles renouvelables : bibliographie en langue française orientée vers les questions africaines.* Doc. Cirad, Montpellier, 82 p.

Leach M., 1991 – *DELTA and village level planning in Sierra Leone : possibilities andpitfalls.* London, IIED, RRA notes, 11 : 42-44.

Lémery B., Couix N., Barbier M., Cartier S., 1996 – « Agriculture et environnement : jeux d'acteurs, émergence de nouvelles formes d'organisations et recherche de coordinations sur les espaces ruraux ». *In : Nouvelles fonctions de l'agriculture et des espaces ruraux,* Colloque Inra, Toulouse : 35-54.

Lémery B., Barbier M., Chia E., 1997 – La recherche-action en pratique : réflexions autour d'une étude de cas. *Études et recherches sur les systèmes agraires et le développement,* 27 : 71-89.

Nguinguiri J. C, 1998 – Approche participative et développement local en Afrique subsaharienne : faut-il repenser la forme contemporaine du modèle participatif ? *Bull. Arbres, forêts et communautés rurales,* 15-16 : 44-48.

Pretty J., Guit J., Thompson J., Scoones I, 1995 – *Participatory learning in action : a trainers' guide for participatory learning in action.* London, International institute for environment and development (IIED), Participatory methodology séries.

Reijntjes C, Haverkort B., Waters-Bayer A., 1995 – *Une agriculture pour l'avenir : une introduction à l'agriculture durable avec peu d'intrants externes.* Paris, Karthala.

Rhoades R., 1982 – *The art of the informal agricultural survey.* Lima, Pérou, Social science department, Training document, 2.

Schönhutch M., Kievelitz U., 1994 – *Les méthodes de recherche et de planification dans la coopération au développement : diagnostic rapide en milieu rur al., diagnostic participatif.* Eschborn, Rép. féd. allemande, GTZ.

Scoones I, McCracken J., 1989 – "Participatory rural approach". *In : Peasant association planning for natural resource management,* London, IIED, Ethiopian red cross society.

Scoones I., Thompson J. (éd.), 1994 – *Beyond farmer first : rural people's knowledge, agricultural research and extension practice.* London, IIED, Intermediate technology publications.

Tonneau J. P., Caron P., Clouet Y., 1998 – L'agriculture familiale au Nordeste (Brésil) : une recherche par analyses spatiales. *Natures, Sciences, Sociétés,* 5 (3) : 39-49.

Water-Bayer A., Bayer W., 1995 – *Planification avec des pasteurs : MARP et au-delà, un compte-rendu de méthodes centré sur/Afrique.* Göttingen, RFA, GTZ, 186 p.

Winter M., 1998 – *La gestion décentralisée des ressources naturelles au Sahel : bilan et analyse.* Londres, IIED, programme Zones arides, 24 p.

NOTES

1. « Pôle système irrigué », programme de recherche international et interinstitutionnel dont l'Isra (Institut sénégalais de recherche agronomique) est un des membres.
2. Les acteurs sont partenaires à part entière dans le processus de construction du sujet et de l'objet de recherche.
3. Le chercheur participe directement aux changements dans les organisations étudiées pour mieux en comprendre les mécanismes.
4. L'approche Delta *("Development éducation and leadership teams in action")* est issue d'une approche sud-américaine, la Par *("Participatory action research").* La Par de Paulo Freire veut organiser une planification autonome des populations. Les agents extérieurs, qui jouent un simple rôle d'animateurs de réunions, de catalyseurs et de facilitateur en commun (Chambers, 1993), accompagnent les locaux pendant une longue période de renforcement de leur confiance en soi et de leur poids politique, sans devoir produire des données et des résultats pour un projet défini et limité dans le temps. La méthode Delta, initiée en Afrique de l'Est (Hope et Timmel, 1984), et la méthode Graap (« Groupe de recherche et d'appui pour l'autopromotion paysanne ») du Burkina Faso visent toujours les processus endogènes de conscientisation et de planification, mais spécifient la méthode et le rôle de l'animateur, qui est alors essentiellement chargé d'encourager l'expression collective des conflits de la communauté, en particulier par l'image et le dessin (Graap, 1987 ; Leach, 1991).
5. Ces approches sont généralement pratiquées par des ONG, voire par des projets, très peu liés aux services d'encadrement de l'État.
6. Terme reflétant bien la position de l'animateur dans une démarche participative : du point de vue des populations, le bailleur de fonds et les animateurs locaux représentent tous les deux des intervenants de l'extérieur (Waters-Bayer et Bayer, 1995).
7. Celle-ci étant parfois visée, mais à long terme, comme le résultat d'un long processus effectué en duo (cf. la démarche Par).
8. Un simple transfert de la méthode Marp à des populations locales est envisagé (MED, 1994 ; Waters-Bayer et Bayer, 1995), ce qui pose plus de problèmes que cela n'en résout : quelle sera l'efficacité dans ce cadre-là d'une méthode d'animation conçue depuis des décennies pour un profil d'animateur rural interdisciplinaire ? Qui se chargera de l'appui– conseil technique ? Qui se chargera des relations indispensables entre les dynamiques locales et l'encadrement technique et administratif ? Quelles relations entre les acteurs locaux désignés pour animer la planification locale et les collectivités locales chargées officiellement de cette fonction ?
9. Processus qui permet à plusieurs parties de coordonner leurs volontés en établissant un accord sur un projet commun minimal (Benghozi, 1990).

AUTEURS

PATRICK D'AQUINO

Géographe. Cirad, BP 175, Saint-Louis, Sénégal,

SEYDOU CAMARA

Sociologue. Saed, BP 44, Saint-Louis, Sénégal,

BABACAR DIOP

Elu local. Mairie, Ross Béthio, Sénégal

Partie 2. Processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales

Processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales

Robert Arfi

1 En évoquant le fonctionnement écologique de zones inondables, on fait le plus souvent référence à des processus transitoires et réversibles, qui concernent essentiellement des dépressions plus ou moins profondes dans des zones « plates ». Lorsque ces zones se situent en milieu tropic al., il faut prendre en compte les effets d'une saisonnalité thermique peu marquée et d'activités métaboliques facilitées par des températures souvent élevées. Le fonctionnement de ces systèmes est le plus souvent basé sous l'influence du régime du "*flood puise*" (Junk *et al.*, 1989) qui contrôle la mise en eau temporaire des zones inondées avec leur enrichissement, et qui transforme complètement les mécanismes d'édification des ressources naturelles à partir d'apports nutritifs exogènes – tant particulaires que dissous – liés à la crue (Scheffer, 1998). La crue fait transiter dans un site donné de l'eau avec sa charge minérale et organique, ce qui transforme radicalement les conditions hydrogéochimiques locales et initie un nouveau cycle biologique. Pendant une période de durée variable, des processus chimiques et biologiques pourront se développer dans les zones inondées, aboutissant à une production de biomasse nouvelle qui sera exportée ou s'accumulera sur place. En fin de cycle, les conditions se transforment de nouveau et se rapprochent plus ou moins rapidement de ce qui était observé avant l'arrivée de l'eau. L'intensité de ces processus sera très différente en fonction de l'éloignement des sites où ils se produisent par rapport au lit du fleuve, et donc de leur connectivité (Junk, 1997). De même, la profondeur de la lame d'eau et son temps de résidence dans un milieu donné sont autant de paramètres essentiels dont dépendra *in fine* la productivité de ce milieu.

2 Ainsi, la pérennité de ces sites, leur productivité – et en fait leur sensibilité à l'intensité de la crue – dépendront aussi bien de leur position géographique, de leurs caractéristiques morphologiques (profondeur, superficie du bassin versant, qualité des sols) que de leur histoire socio-culturelle (usages, aménagements). On observera donc une multitude de situations intermédiaires et spécifiques. En affectant les usages et en modifiant les

caractéristiques physiques, les pressions anthropiques jouent aussi un rôle important quant à la « qualité » de ces milieux aquatiques.

L'eau, vecteur d'apports exogènes et milieu de transformations

3 Pour comprendre les mécanismes qui contrôlent les processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales, il faut s'intéresser à l'eau en tant que vecteur d'apports exogènes et en tant que milieu de transformations biogéochimiques. Il faut donc, d'une part, aborder le fonctionnement hydrologique de ces zones en s'intéressant notamment au suivi de l'inondation qui reflète le chemin de leur enrichissement naturel et, d'autre part, s'intéresser aux processus (physiques, chimiques ou biologiques) permis par la présence transitoire de l'eau dans ces milieux. En effet, la fertilisation du milieu par l'eau est à la base des processus biologiques permettant la productivité primaire. Ces processus sont à la fois contrôlés par des facteurs ascendants (*bottom-up,* liés aux conditions environnementales qui permettent l'accès aux ressources) et descendants (*top-down,* liés au contrôle biologique par les consommateurs au sein d'un réseau trophique). Ces productions s'organisent dans l'espace et dans le temps (répartition, abondance, disponibilité), et leur transfert au sein des réseaux trophiques aboutit à l'édification de ressources, exploitées ou non.

Saisonnalité et variabilité interannuelle de l'inondation

4 Dans une zone inondable, la crue constitue l'irruption d'un phénomène – l'arrivée des eaux fluviales – ayant une origine décalée dans l'espace et dans le temps, dans un milieu dont le fonctionnement était jusqu'alors régulé par des conditions climatiques et hydrologiques locales. Ces apports exogènes, parfois d'origine très lointaine et qui s'ajoutent à la pluviométrie locale, sont liés aux conditions météorologiques régnant en amont, et le cas échéant aux éventuels aménagements ou usages des plans d'eau de l'amont. Par ailleurs, les climats tropicaux sont caractérisés par une saison des pluies toujours très marquée par rapport à une saison sèche plus ou moins longue. Ainsi, l'édification des ressources naturelles dans les zones inondables tropicales dépendra avant tout d'une crue annuelle induisant une forte saisonnalité. Aussi, la dynamique hydrologique est fortement dépendante de la variabilité climatique du bassin versant dont dépend la zone inondable. Par exemple, dans le delta intérieur du fleuve Niger, Gil Mahé *et al.* montrent que la diminution des superficies inondées observée au cours des années 1980 serait due essentiellement à la diminution des écoulements fluviaux provenant de Guinée, même si les pluies sur le delta ont aussi diminué de 20 % au cours de cette période. Par contre, des règles de gestion des eaux mal maîtrisées peuvent changer la dynamique hydrologique locale (remontée du niveau de la nappe phréatique, inondations atypiques), comme le souligne Alioune Kane dans le cas du delta du fleuve Sénég al., où les inondations sont de plus en plus fréquentes avec des conséquences catastrophiques pour les cultures et les infrastructures riveraines, malgré la baisse actuelle des maximums de crue et en dépit des aménagements construits pour en atténuer les effets.

5 La connaissance des superficies inondées en fonction des termes du bilan hydrologique est un moyen rapide pour évaluer les potentialités en ressources naturelles de ces zones.

Différents modèles hydrologiques ont été proposés pour estimer les superficies maximales inondées du delta intérieur du Niger : les superficies inondées varieraient entre 9 000 km^2 en 1984, année la plus sèche du XX^e siècle, et plus de 40 000 km^2 en 1955, année la plus humide. Mais outre les modèles hydrologiques, des descripteurs écologiques peuvent également être utilisés pour suivre l'évolution de l'inondation. En effet, la forte saisonnalité induit des modifications importantes du paysage. L'inondation, qui accompagne l'arrivée de la crue, transforme un milieu souvent aride en un milieu humide. Ce phénomène entraîne un basculement progressif des conditions environnementales aboutissant à une spatialisation de la couverture végétale liée aux conditions morphologiques de la zone inondée. *A contrario,* le décryptage de cette couverture végétale en fonction d'associations agro-écologiques spécifiques renseignent sur les surfaces moyennes inondables. Didier Orange *et al.* utilisent ces deux types d'approche – hydrologique et agro-écologique – pour décrire le fonctionnement hydrologique par seuil du delta intérieur du Niger et discuter la forte variabilité interannuelle de l'inondation.

6 Enfin, s'il est important de pouvoir estimer les superficies totales en eau pour une planification de la gestion des ressources naturelles, il est également très utile de connaître la dynamique spatio-temporelle de l'inondation. Ainsi, pour une zone aussi grande que le delta intérieur du Niger, la télédétection peut représenter un outil performant, comme le montrent Adama Mariko *et al.* en utilisant des données satellitales NOAA. A partir de séquences d'image, les auteurs décrivent l'évolution du front d'inondation et d'assèchement en 1999. Les images mettent en évidence l'évolution de la végétation herbacée qui s'installe au début de la crue, présente une extension maximale en décembre, commence à se dégrader en février et disparaît en grande partie en juin, laissant un sol alluvionnaire nu. Cette vision synoptique d'un phénomène dynamique peut s'avérer d'autant plus riche d'information que l'on se rapproche du traitement en temps réel, ce qui semble possible puisque ces images sont acquises quotidiennement par le centre Agrhymet de Niamey.

Seuils topographiques et apports allochtones

7 L'inondation fonctionne comme un moteur assurant le transit d'énergie dans le système, amenant l'eau, les particules et le matériel dissous dans des milieux jusqu'alors confinés ou asséchés. Cette mise en connexion avec le reste du bassin et entre les compartiments constitutifs de la zone inondable est dépendante de seuils topographiques (naturels ou aménagés) qui font que les zones inondables n'ont pas uniquement une fonction de transfert. Mais elles jouent un rôle de piège retenant des quantités considérables d'eau et de composés particulaires et dissous, comme Cécile Picouet *et al.* l'expliquent. Ces auteurs montrent que suivant l'hydraulicité de l'année, 30 à 45 % des entrées d'eau dans le delta intérieur du Niger sont perdues par évaporation. Ils confirment le fonctionnement hydrologique par seuil du remplissage successif des plaines, des mares et des lacs qui stockent puis consomment des volumes d'eau et de matières significatifs. Ainsi, la traversée du delta entraîne la capture de 26 à 54 % des entrées de matières particulaires.

Facteurs et processus contrôlant la productivité primaire

8 Faible profondeur, éclairement fort et constant, températures de l'eau et de l'air souvent élevées sont autant de caractéristiques des zones inondables tropicales. La morphologie naturelle (seuils, bathymétrie, végétation) et les aménagements (seuils ou chenaux artificiels, barrages) contrôlent l'intensité et la durée de la crue et de la décrue, et donc les temps de résidence de l'eau ainsi que les transferts de matière d'un bief à l'autre. Toutefois, l'élaboration de la ressource ne se réalise que lorsque la situation devient favorable pour les différents compartiments producteurs. Ces caractères peuvent expliquer la rapide colonisation des sites une fois remis en eau et le très fort développement de biomasse végétale qui s'en suit. Ils expliquent aussi le rôle secondaire joué par le compartiment pélagique, surclassé en biomasse par des macrophytes triomphantes parce qu'accédant aisément aux ressources nutritives avec peu ou pas de limitation énergétique. En effet, la transformation locale d'un matériel d'origine allochtone amené par la crue, puis d'un matériel autochtone et de recyclage, obéit à des règles particulières largement dépendantes de la morphologie des sites, et, le cas échéant, des aménagements. Fleuves et défluents ne sont généralement que des « tubes » assurant le transit de l'eau et des ressources minérales, alors que les lacs et les mares ne deviennent favorables à la production planctonique que lorsque les temps de résidence et surtout les conditions d'éclairement le permettent dans un contexte de profondeur optimum autorisant des échanges aisés entre la couche supérieure, éclairée et productive, et la couche profonde, siège de la minéralisation à l'interface eau-sédiment. Didier Orange *et al.* décrivent le fonctionnement biogéochimique d'une plaine d'inondation typique du delta intérieur du Niger où les chemins de l'eau et la turbidité sont les principaux paramètres explicatifs de l'évolution des teneurs en nutriments dans les divers compartiments constitutifs de la plaine, qui s'avère être une formidable zone de stockage d'azote et de phosphore. Dans cette même plaine, Robert Arfi démontre que ces conditions nécessaires à la concrétisation de la productivité primaire principalement liées à l'hydrodynamisme et au temps de résidence de l'eau dans le milieu sont en étroite relation avec les exigences respectives des producteurs microphytiques ou macrophytiques, fixés ou dérivants. Ainsi, par exemple, la profondeur des sites et les énergies auxiliaires – comme le vent – régulent le réapprovisionnement de la couche euphotique en éléments nutritifs. La productivité de ces milieux généralement peu profonds dépend donc des conditions environnementales, qui contrôlent la production primaire *via* la climatologie et la morphologie locale.

Macrophytes et consommateurs secondaires

9 Les zones inondables tropicales sont essentiellement favorables aux macrophytes. Comme le montre Jacques Lemoalle, les macrophytes sont un élément majeur du fonctionnement des zones inondables avec la mise en œuvre d'une association étroite entre les cycles climatique, hydrique et biologiques. Ainsi le succès de leur colonisation dépend à la fois de la répartition temporelle des pluies locales préalables à la crue, qui permettent leur germination, que de l'ampleur de la crue. Ces formations végétales ont aussi un rôle déterminant dans la structuration des communautés phytoplanctoniques. Le long des

berges mais aussi aux entrées et aux sorties des plans d'eau lacustres, les macrophytes forment des réseaux de tiges très denses, qui exercent une action de filtration efficace et favorisent la sédimentation et le piégeage des particules pélagiques. D'après Samuel Diarra *et al.*, ce rôle considérable des macrophytes dans le piégeage particulaire serait à l'origine d'un changement récent du fonctionnement hydrosédimentologique du lac Débo, lié à la prolifération du « bourgou » dans les lacs centraux du delta intérieur du Niger à la faveur des sécheresses récentes. En outre, alors que les sites de pleine eau sont caractérisés par une production surtout autotrophe, les formations macrophytiques où s'accumule et s'immobilise du matériel biologique sont caractérisées par un fonctionnement basé sur l'hétérotrophie et les échanges de proximité entre compartiments. Enfin, elles jouent un rôle essentiel pour les comportements trophiques et de reproduction du zooplancton et des poissons.

10 La présence et l'abondance des consommateurs secondaires susceptibles d'utiliser la ressource primaire disponible, eux-mêmes dépendants de la présence et de l'abondance des carnivores, vont conditionner les transferts trophiques vers les niveaux exploitables. A cet égard, les migrations de poissons liées à la propagation de l'onde de crue sont un élément essentiel du fonctionnement écologique des zones inondables. Dans le delta intérieur du Niger, Vincent Bénech démontre l'importance des migrations latérales dans l'utilisation de la zone inondable par les poissons originaires du système fluvial. Les espèces de petite taille se cantonnent dans les chenaux et les abords des plaines inondées, alors que les espèces de grande taille restent dans le réseau fluvial pour effectuer leur reproduction. Les plaines inondées joueraient donc un rôle de nurseries à la faveur des zones macrophytiques et permettraient une croissance élevée. La colonisation de ces milieux s'effectue par le biais de plusieurs cohortes de jeunes qui pénètrent successivement dans la plaine à la faveur de la montée des eaux. Ce phénomène pourrait correspondre à une adaptation aux modifications des caractéristiques saisonnières de la crue, et donc aux potentialités trophiques offertes par les zones inondées. En raison de cette fonction nourricière essentielle de la plaine inondée, il pourrait s'avérer intéressant de contrôler l'alevinage de certains milieux et d'augmenter artificiellement le temps de résidence des eaux. Cependant, on rencontrerait alors des conflits d'intérêt quant aux usages des milieux, la récolte de riz qui succède habituellement aux activités halieutiques de décrue nécessitant un contrôle du niveau d'eau contradictoire.

11 Outre les migrations de poissons, déjà évoquées, les crues ont un effet régulateur du comportement de nombreuses espèces animales.

12 Bruno Sicard et Wamian Diarra montrent l'importance du cycle hydrologique pour les processus liés à la reproduction et aux pullulations de rongeurs. Enfin, on sait aussi que les oiseaux peuvent faire office d'indicateurs écologiques, tant par leur présence que par leur activité et leur influence sur les transferts trophiques dans les systèmes terrestres et aquatiques.

Variabilités et résiliences

13 La crue et l'inondation qui s'en suit contrôlent donc l'édification des ressources dans les zones inondables. Comme nous venons de le voir, ces phénomènes hydrologiques présentent une très forte variabilité en zone tropicale. Aussi, des infrastructures sont souvent développées pour limiter cette incertitude et pour augmenter la productivité agricole. De tels dispositifs modifient parfois l'intensité et la dynamique des apports

exogènes en contrôlant les temps de résidence et la connectivité des sites, et limitent ainsi l'enrichissement du milieu. Pour pallier à ces inconvénients, des processus mimant le cycle naturel de l'inondation peuvent être mis en œuvre avec des succès divers, la manipulation de systèmes dont on ne connaît qu'imparfaitement le fonctionnement pouvant s'avérer hasardeuse. Ces dispositifs ont des conséquences environnementales non négligeables, comme le montrent Serge Marlet et Kabirou Ndiaye à propos de l'évolution des sols et des eaux à l'Office du Niger au Mali. Une autre caractéristique de ces zones inondables tropicales est leur pouvoir résilient parfaitement adapté à cette forte variabilité de l'apport en eau. Cependant, on peut se demander où se situe la limite de réversibilité des processus naturels induisant la fertilité de ces zones ? Dans certains cas d'aménagements ayant entraîné une dégradation sensible de la qualité des sols et des eaux, il s'est avéré intéressant de retrouver un cycle d'inondation naturelle, comme l'expliquent Daniel Sighomnou *et al.* dans le cas du réaménagement de la plaine du Yaéré dans le nord du Cameroun. La richesse naturelle des zones inondables, leur fragilité, réelle ou supposée, plaident pour le maintien, voire la restauration, d'un cycle hydrologique naturel essentiel pour les processus participant à l'édification des ressources naturelles dans ce chaos organisé.

Conclusion

14 Vecteur d'eau, de particules et de composés dissous dont des éléments nutritifs indispensables à la production primaire, la crue et l'inondation permettent le développement de processus naturels aboutissant au développement de réseaux trophiques et à leur exploitation par l'agriculture, l'élevage et la pêche, en association avec la géomorphologie des sites qui en régule l'édification et la diversification. Les différentes études de cas des fonctionnements hydrologique, biogéochimique et biologique de ces zones inondables tropicales militent pour une approche écologique globale. L'édification des ressources naturelles dans ces zones dépend à la fois de la dynamique spatiale et temporelle de l'inondation – liée à l'importance respective des apports (débits entrants, pluies) et des sorties (débits sortants, évaporation, évapotranspiration, infiltration) –, de la variabilité interannuelle du climat local et région al., des temps de résidence dans les différents types de milieux (fleuves et défluents, lacs et mares, plaines d'inondation) et de la typologie des systèmes (lentiques ou lotiques, permanents ou temporaires). Enfin, parce que les consommateurs supérieurs (poissons, oiseaux et mammifères) exploitent directement ou indirectement le milieu à partir de la production primaire, l'importance de la production terminale éventuellement exploitable dépendra *in fine* du succès de ce compartiment planctonique.

15 Aussi, dans une volonté d'aménagement et de gestion durable des zones inondables tropicales, il semble nécessaire de connaître à différentes échelles spatiales et temporelles : les modalités de contrôle de l'échelon primaire planctonique et macrophytique par la ressource nutritive d'origine exogène ou remobilisée (que ces facteurs soient environnementaux, physiologiques ou biologiques) ; la productivité primaire et secondaire des compartiments constitutifs des zones inondables tropicales, leurs facteurs de contrôle ainsi que leur variabilité saisonnière afin de mieux comprendre le devenir trophique de la matière organique ainsi produite et l'efficacité des transferts ; le rôle d'indicateur joué par les organismes supérieurs (insectes, poissons, petits mammifères, oiseaux), surtout lors de pullulation ; les forçages physiques régulant les

comportements de migrations, de reproduction et de nutrition dans un contexte environnemental donné ; et les conséquences des aménagements sur le fonctionnement des systèmes et sur leur biodiversité. Cependant, les ressources naturelles des zones inondables tropicales sont souvent basées sur des variétés ou sur des espèces opportunistes parfaitement adaptées et sélectionnées par les extrêmes variabilités dans le temps – saisonnière et interannuelle – ou dans l'espace – entre lit fluvial et plaine inondée et dépendant essentiellement de la géomorphologie du système. Il est donc essentiel d'approcher la variabilité interannuelle hydrologique et d'en comprendre son impact dans les processus biogéochimiques si l'on veut un jour pouvoir exploiter de façon durable et maximale les potentialités et la diversité des zones inondables tropicales. Il est donc nécessaire de coupler la compréhension des processus d'édification des ressources naturelles avec une connaissance de la zone inondable en termes de géomorphologie et d'aménagements, sans omettre de recadrer ces phénomènes au sein de la dynamique spatiotemporelle de l'hydroclimat et du suivi de l'inondation. A terme, il s'agira de disposer de modèles conceptuels liant l'édification spatio-temporelle des ressources naturelles exploitables à la disponibilité en eau et en éléments dissous prenant en compte la production primaire et la production macrophytique, qui semble être essentielle. Cette approche devrait permettre l'accès aux indices de sensibilité de ces ressources, aux aléas hydroclimatiques et, dans un second temps, aux aménagements.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Junk W. J., Bayley P. B., Sparks R. E., 1989 – "The flood-pulse concept in river-floodplain Systems". *In* Dodge D. P. (éd) : *Large river symp.*, Can. Spec. Publ. Fish. Aquat., 106 : 110-127.

Junk W. J., 1997 – "General aspect of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains". *In* Junk W. J. (éd) : *The central Amazon floodplain,* Ecological studies, 126 : 3-20.

Scheffer M., 1998 – *The ecology of shallow lakes.* Londres, Chapman et Hall, 357 p.

AUTEUR

ROBERT ARFI

Hydrobiologiste. IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal,

Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali)

Gil Mahé, Fatogoma Bamba, Didier Orange, Lamine Fofana, Marcel Kuper, Bertrand Marieu, Abdourhamane Soumaguel et Navon Cissé

1 Le delta intérieur du fleuve Niger au Mali constitue une singularité hydrologique de par sa situation géographique au milieu de la zone sahélienne. L'étude de la variabilité tant spatiale que temporelle des paramètres hydroclimatiques (pluviométrie, température de l'air, évapotranspiration potentielle et nébulosité) devrait permettre une utilisation plus rationnelle de la ressource en eau. Le but de cet article a été non seulement de cartographier les variations spatiotemporelles des paramètres météorologiques mais aussi de les confronter à la dynamique des écoulements observés dans le delta intérieur du Niger pour en déduire son fonctionnement hydrologique.

2 Depuis les années 70, le continent africain est soumis à une péjoration des ressources en eaux de surface sans précédent (Pouyaud, 1987 ; Olivry, 1993 ; Mahé et Olivry, 1995, 1999 ; Orange *et al.*, 1997 ; Mahé *et al.*, 2001), qui a occasionné une baisse importante des écoulements et des réserves d'eau souterraines (Mahé *et al.*, 2000). Malgré quelques années de pluviométrie proche de la normale depuis 1990, l'écoulement reste déficitaire pour le fleuve Niger et son tributaire le Bani alimentant le delta intérieur du Niger (Bamba *et al.*, 1996 ; Bricquet *et al.*, 1996). La baisse des écoulements a provoqué une réduction des surfaces inondées dans le delta intérieur du Niger (Olivry, 1995) induisant des problèmes majeurs d'exploitation pour les populations de la zone (Poncet et Orange, 1999). Les activités économiques – agricoles, pastorales et halieutiques – du delta intérieur du Niger, très liées à la montée et à la descente des eaux, se trouvent en cette période de longue sécheresse d'autant plus soumises à la variabilité hydroclimatique spatio-temporelle interannuelle. Aussi dans le cadre du projet Gihrex, il s'est agi de construire une grille spatio-temporelle des données hydroclimatiques pertinente pour comprendre les contraintes liées aux variabilités saisonnière et interannuelle du bilan de l'eau sur la productivité des milieux – et donc sur les choix stratégiques d'exploitation. Dans un premier temps, nous présentons la variabilité spatiale récente des paramètres climatiques constitutifs du bilan de l'eau et discutons du comportement hydrologique par grandes régions géomorphologiques du delta. Dans une seconde partie, nous abordons la

variabilité interannuelle de la ressource en eau depuis le début du siècle, en faisant la part entre la variabilité des écoulements provenant des bassins versants amont du delta et celle de la pluviométrie reçue par le delta.

Cadre physique de l'étude

3 Le delta intérieur du Niger est compris entre les latitudes 12° 10' N et 16°20' N, les longitudes 3°00' O et 6°00' O (fig. 1). Cette zone d'inondation est alimentée par deux cours d'eau, le Bani à Douna et le fleuve Niger à Ké-Macina ; elle est caractérisée par des pentes très faibles entraînant des vitesses du courant en surface n'excédant pas 0,3 à 0,6 m s^{-1} dans les bras principaux, par un chapelet de lacs centraux (d'ouest en est : les lacs Wallado, Débo et Korientzé) où tous les écoulements amont venant du sud convergent, et par un point de sortie unique au niveau de Dire sur le fleuve Niger. Cet ensemble est constitué de plaines inondables, de mares, lacs et chenaux non pérennes, de dunes et plateaux, le tout réalisant une répartition spatiale complexe des eaux d'inondation. Son fonctionnement hydrologique dépend donc en grande partie des apports en eau des deux tributaires Niger et Bani – et donc de leur régimes hydroclimatiques –, de la pluviométrie, de l'évaporation et de l'infiltration dans le delta, et de ses caractéristiques morphologiques.

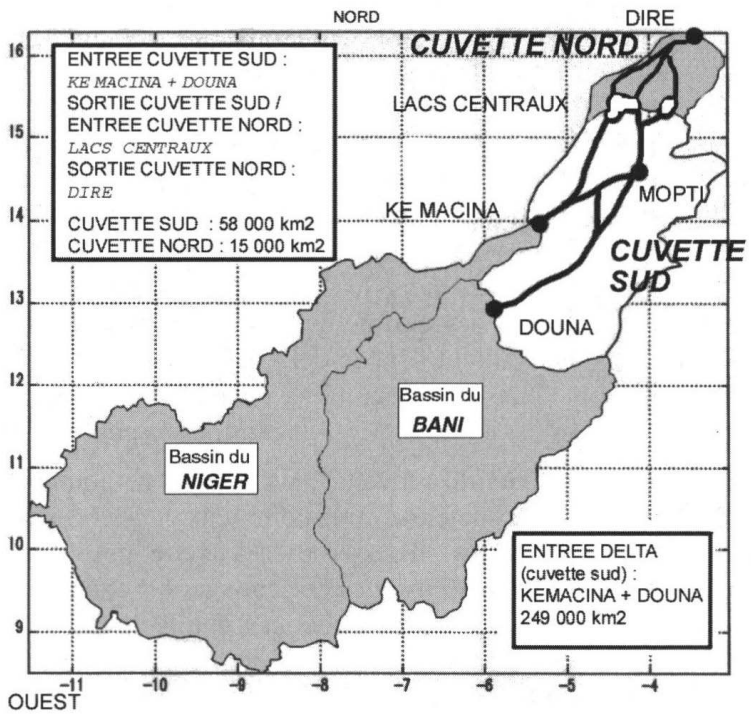


Figure 1. Situation géographique du delta intérieur du Niger (avec représentation de la « cuvette sud » et de la « cuvette nord » constitutives du delta) et des bassins hydrologiques d'alimentation (bassin du Niger et bassin du Bani). Seuls les principaux axes fluviaux du delta sont représentés avec indication des principales stations hydrologiques (Douna sur le Bani, Ké-Macina, Mopti et Dire sur le Niger et les lacs centraux).

4 La pluviométrie de la zone est comprise entre 600 mm au sud et 150 mm au nord. Elle est caractérisée par deux régimes climatiques : le régime sahélien au sud, zone comprise

entre les isohyètes 600 mm et 300 mm ; et le régime subdésertique au nord, entre les isohyètes 300 mm et 150 mm.

5 La zone des lacs centraux permet de diviser le delta intérieur en deux entités géomorphologiques différentes (fig. 1) :

- au sud des lacs centraux, une cuvette amont (dite « cuvette sud ») correspondant à la plaine d'inondation *sensu stricto,* dont la superficie de l'impluvium[1] est d'environ 58 000 km^2 ;
- au nord des lacs centraux, la « cuvette nord » correspondant à un erg inondé (erg de Niafunké), dont la superficie de l'impluvium est de 15 000 km^2, en prenant Dire comme exutoire.

6 Le sud-est de la cuvette sud est occupé par des petits bassins versants descendant des plateaux dogons (d'une superficie de 25 000 km^2), peu importants sur le plan hydrologique et dont seuls les réseaux inférieurs participent à la plaine d'inondation. Leur contribution est modeste, environ 50 m^3 s^{-1} en module annuel d'après Auvray (1960). La majeure partie de cette surface (environ 20 000 km^2) n'appartient pas réellement au delta en tant que zone inondable puisque ce sont des terrains jamais inondés. Mais nous devons en tenir compte dans le bilan hydrologique car nous n'avons pas de stations de contrôle des écoulements aux exutoires de ces petits bassins entrant dans le delta. Sans la prise en compte de ces têtes de bassins, la surface de la cuvette sud se réduirait à environ 38 000 km^2, soit encore 2,5 fois plus que la cuvette nord.

7 Par contre, les contours des cuvettes sud et nord ne comprennent pas les surfaces des lacs latéraux, très nombreux et qui occupent de vastes superficies sur les marges de la cuvette nord. Ils sont alimentés par le fleuve par passages de seuils au fur et à mesure de la montée des eaux. L'existence de ces seuils à des niveaux variables à l'entrée de ces lacs provoque la retenue permanente de gros volumes d'eau lentement évaporés (Picouet *et al.* , ce volume). Le système de lacs de la région de Goundam (Télé, Faguibine) n'est pas compris dans le système hydrologique défini pour cette étude, car il est alimenté en aval de Dire. Enfin, l'ensemble de ces régions et le fonctionnement des systèmes de lacs ont été décrits par Auvray (1960), Guiguen (1985), Brunet-Moret *et al.* (1986).

Construction d'une grille spatio-temporelle hydroclimatique

Méthode d'homogénéisation spatiale

8 Dans le cadre de la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger réalisée dans le projet Gihrex (Kuper *et ai,* ce volume[2]), il est nécessaire de connaître la variabilité interannuelle des paramètres du bilan de l'eau par maille d'un degré carré. Pour générer cette information, nous avons utilisé une chaîne de traitement automatique d'interpolation spline développée par Mahé *et al.* (1994). L'homogénéisation des données météorologiques a été réalisée à l'aide de la méthode du vecteur régional (MVR) présentée dans Wotling *et al.* (1995). La méthode d'interpolation spline a été testée sur des pas d'espace de la grille de 0,5° et de 1°. Les résultats des traitements de données ne montrent pas de changement significatif avec le choix du pas d'espace. Ceci nous a permis de nous limiter à la valeur de 1° pour la suite des calculs. On peut trouver le détail de ces traitements avec les représentations graphiques mensuelles dans Bamba *et al.* (1999).

Présentation des variables

9 La pluviométrie moyenne sur le delta a été déterminée à partir de la base de données annuelles observées durant la période 1901– 1995 sur 49 postes pluviométriques couvrant l'ensemble de la zone étudiée (Soumaguel, 1996). Sur la période récente, la pluviométrie a également été homogénéisée par quinzaine.

10 Pour la température de l'air, l'évapotranspiration potentielle et la nébulosité, six stations encadrant et couvrant le delta ont pu être prises en compte, de 1993 à 1996, au pas de temps de quinze jours. Toutes les données proviennent des tableaux climatologiques mensuels fournis par le service de la Météorologie nationale du Mali. La température de l'air journalière est la moyenne des huit observations de la journée. Les températures moyennes utilisées dans la chaîne de calcul ont été obtenues en faisant la moyenne des quinze premiers jours puis des quinze derniers jours pour chaque mois, de mai 1993 à avril 1996. L'ETP a été calculée par une formule de Penman modifiée recommandée par l'OMM. Elle a subi le même traitement que la température de l'air. La nébulosité a été calculée à partir de la nébulosité observée à 12 heures. Les valeurs moyennes par quinzaine représentent la moyenne des valeurs de la nébulosité observée à midi sur la période considérée. Ce dépouillement a révélé des jours où la nébulosité était manquante soit par suite de phénomènes réduisant la visibilité verticale (tempête de poussières, brume humide...), soit plus rarement par manque d'observation ; ces jours ne sont pas pris en compte dans nos calculs. Aussi la nébulosité utilisée dans cette étude est probablement légèrement sous-estimée.

11 Les écoulements de surface entrants dans le delta sont calculés à partir des débits du Niger à Ké-Macina et du Bani à Douna sur la période 1907-1995. L'écoulement sortant est pris à la station de Dire sur le Niger. Les données hydrologiques proviennent de la collaboration IRD/DNH (Direction nationale de l'hydraulique au Mali) (Marieu *et al.*, 1998).

Variabilité spatiale mensuelle des paramètres climatiques dans le delta

12 A partir des cartes isohyètes construites par cette méthode, il apparaît que la pluie arrive dans le sud du delta la première quinzaine de juin et progresse d'est en ouest et du sud au nord pour couvrir tout le delta en juillet. Le maximum par quinzaine a lieu début août avec 180 mm au sud et 55 mm au nord. Fin octobre, alors que la pluie prend fin au sud du delta, elle continue encore un mois dans la partie ouest correspondant à la zone du Macina. De novembre jusqu'à fin avril, on observe une diminution de la température du sud au nord ; puis début mai, la température augmente du NO vers le SE avec une amplitude très faible ; et courant mai, on observe une inversion du gradient de température, c'est-à-dire une augmentation de la température du sud au nord, cette situation se maintient jusqu'au mois d'octobre. L'analyse des cartes d'isovaleurs de l'évapotranspiration potentielle montre bien une augmentation générale du sud au nord suivant en cela l'évolution de la température de l'air (respectivement de 6 mm j^{-1} à 9 mm j^{-1} en moyenne), sans différence entre l'est et l'ouest. Le différentiel nord-sud est le plus fort en juin avec 3 mm j^{-1} au sud et plus de 10 mm j^{-1} au nord, impliquant des vents thermiques violents à cette époque. Enfin la répartition de la nébulosité suit un axe SO-NE. Elle augmente vers le nord en début de saison sèche (de janvier à mars) pour

s'inverser ensuite jusqu'à l'arrivée des pluies. A partir de juin, les fortes nébulosités sont observées au sud du delta durant toute la saison des pluies, avec un léger gradient positif d'est en ouest.

13 Dans l'analyse spatio-temporelle des principaux facteurs météorologiques, on retrouve bien une opposition nord-sud classique avec un climat sahélien marqué au nord et un climat soudanien au sud. La différence de morphologie entre la cuvette sud et la cuvette nord ne se traduit pas par un changement de comportement climatique.

Bilan hydrologique annuel du delta depuis le début du siècle

Une période humide 1907-1969, une période sèche 1970-1995

14 L'analyse interannuelle des résultats du calcul de la lame d'eau annuelle précipitée sur le delta intérieur du Niger montre que six des sept premières décennies du siècle (de 1907 à 1969), à l'exception de la décennie 1911-1920, ont une pluviométrie supérieure ou égale à la moyenne du siècle qui est de 555 mm an^{-1}, les trois dernières décennies du siècle ayant une pluviométrie inférieure (tableau 1). Cette rupture pluviométrique à l'échelle du siècle a été décrite par Mahé *et al.* (2001). Elle confirme l'ampleur sous-continentale de la sécheresse au Sahel, dont le début se situe le plus souvent entre 1969 et 1971. La période étudiée 1907-1995 se partage donc en deux périodes : une première humide allant de 1907 à 1969 et une seconde sèche de 1970 à 1995. La figure 2 illustre le glissement de l'ensemble des isohyètes du nord vers le sud entre ces deux périodes hydroclimatiques bien marquées. Ainsi Dire situé au niveau de l'isohyète 300 mm en période humide se trouve aujourd'hui en-dessous de l'isohyète 200 mm (fig. 2). Cependant cette péjoration pluviométrique ne change pas l'orientation des isohyètes. Il ne semble donc pas y avoir de changement relatif dans l'abondance pluviométrique entre les différentes régions constitutives du delta.

15 La lame d'eau précipitée moyenne était de 587 mm an^{-1} lors de la période humide contre 478 mm an^{-1} actuellement, ce qui représente pour ces dernières années un déficit pluviométrique de 19 % par rapport à la période précédente.

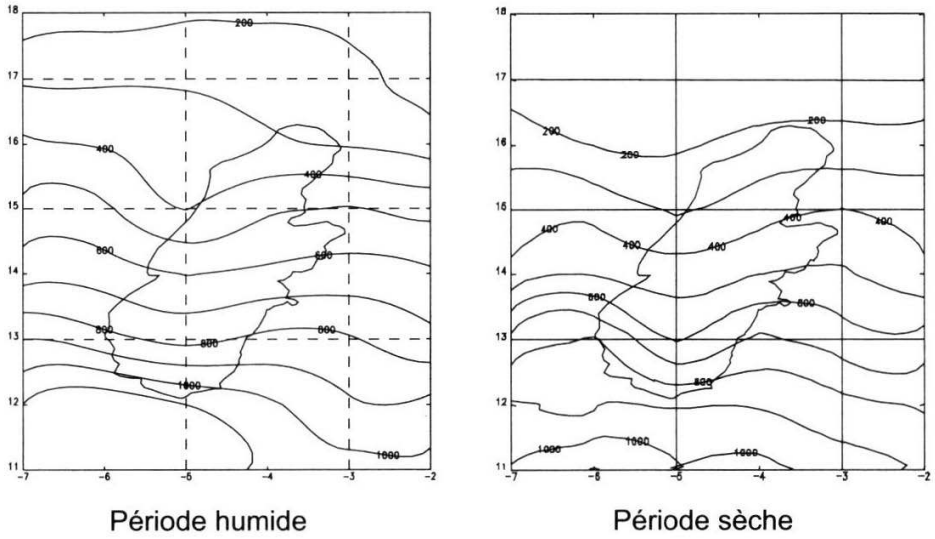


Figure 2. Comparaison des isohyètes annuelles sur le delta intérieur du fleuve Niger au Mali entre la période humide (1907-1969) et la période sèche (1970-1995).

Reconstitution des écoulements du delta depuis le début du siècle

16 L'écoulement entrant est constitué par les apports du Niger à Ké – Macina et du Bani à Douna. L'écoulement sortant est celui du Niger à Diré. Les données de débits existent dès 1922 pour Douna, 1924 pour Dire et 1951 pour Ké-Macina (Marieu *et al.*, 1998). Afin de présenter une chronique de débits annuels aussi longue que la chronique de pluies, nous avons reconstitué les modules annuels manquants du début du siècle en recherchant des régressions linéaires entre les modules hydrologiques de stations amont et aval du fleuve. Notons que les écoulements entrants dans le delta présentent une mauvaise corrélation avec la variabilité pluviométrique sur le delta.

17 Il existe une très bonne corrélation (r^2 = 0,95) sur la période 1951-1969 entre les modules du Niger à Ké-Macina et ceux du Niger à Koulikoro, station hydrologique de référence du bassin amont du fleuve Niger située environ 300 km avant Ké-Macina, dont les observations débutent en 1907 (Bricquet *et al.*, 1996 ; Lamagat *et al.*, 1996). Les modules annuels du Niger à Ké-Macina avant 1951 sont donc reconstitués à partir des débits observés du Niger à Koulikoro. Les débits à Diré sont estimés à partir de ceux de Koulikoro (r^2 = 0,95 pour 66 ans) pour les deux premières décennies du siècle. Puis l'écoulement du Bani à Douna est reconstitué à partir des débits de Dire (r^2 = 0,82 pour 46 ans).

Bilan hydrologique moyen

18 L'apport en eau est double : il provient de la pluie et des écoulements de surface amont, ici les apports du Niger et du Bani. Ainsi, à partir des écoulements entrants, de l'écoulement sortant et de la hauteur de pluie tombée, on peut calculer le bilan d'écoulement sur le delta (tableau 1). Sur la période 1907-1995, la lame écoulée entrant dans le delta est de 787 mm an^{-1} tandis que la lame précipitée est de 555 mm an^{-1}. L'apport total théorique en eau au delta est donc de 1 340 mm par an. Mais le coefficient de ruissellement de la pluie est très faible dans cette région du fait d'une très forte

évaporation et des pentes très faibles où le ruissellement est piégé dans de très nombreuses petites dépressions évaporatoires. Aussi la lame ruisselée contributive à l'écoulement est de seulement 5 %, l'infiltration étant négligeable (Marieu, 2000). La quantité d'eau participant réellement à l'écoulement de surface dans le delta est donc de 815 mm par an (tableau 1).

19 A Dire, la lame écoulée sortante est de 452 mm an^{-1}, ce qui fait une perte en eau dans le delta de 335 mm (ou 363 mm si l'on considère l'apport supplémentaire par la pluie ruisselée). Si l'on considère la somme des pluies tombées sur le delta avec les écoulements entrants, soit une moyenne de 1 340 mm an^{-1}, il est remarquable de constater que la perte totale en eau, qui correspond à l'eau évaporée – ou dans une très faible partie, infiltrée – est relativement constante au cours du siècle. Que ce soit en période sèche ou humide, le delta intérieur du Niger perd toujours les deux tiers de l'eau qui lui sont apportés.

Tableau 1. Éléments du bilan hydrologique du delta intérieur du Niger et moyennes interannuelles caractéristiques, de 1907 à 1995. PCE : pluie annuelle contributive aux écoulements du delta, elle correspond à 5 % de la pluie annuelle ; Le : écoulement annuel entrant dans le delta ; Ls : écoulement annuel sortant du delta. La perte d'écoulement est la différence Le-Ls ; la perte réelle en eau prend en compte les écoulements entrants et la pluie contributive. La surface totale de l'impluvium correspondant au fonctionnement hydrologique du delta intérieur est de 73 000 km^2.

	Pluie annuelle	PCE	Le	Ls	Perte d'écoulement		PCE / Le	PCE + Le	Perte réelle en eau
Années	mm	mm	Mm	mm	mm	%	%	mm	%
1907-1910	577	29	856	530	326	*38,1*	*3.4*	885	*40.1*
1911-1920	540	27	813	514	299	*36,.8*	*3.3*	840	*38.8*
1921-1930	566	28	1035	566	469	*45,3*	*2.7*	1063	*46,8*
1931-1940	594	30	882	470	412	*46,7*	*3.4*	912	*48,5*
1941-1950	573	29	753	398	355	*47,1*	*3.9*	782	*49,1*
1951-1960	658	33	1057	577	480	*45,4*	*3.1*	1090	*47,1*
1961-1970	587	29	911	498	413	*45,3*	*3.2*	940	*47,0*
1971-1980	499	25	605	378	227	*37,5*	*4.1*	630	*40,0*
1981-1990	432	22	361	251	110	*30,5*	*6.1*	383	*34,5*
1991-1995	522	26	485	310	175	*36,1*	*5.4*	511	*39,3*
Le siècle									
1907-1995	*555*	*28*	*787*	*452*	*335*	*42,6*	*3.6*	*815*	*44,5*
Période humide									
1907-1969	587	29	908	506	402	*44,3*	*3.2*	937	*46,0*
Période sèche									
1970-1995	478	24	492	321	171	*34,8*	*4.9*	516	*37,8*

20 Durant la période humide (1907-1969), le delta a reçu en moyenne 587 mm an^{-1} de pluie et 908 mm an^{-1} de lame d'eau écoulée (tableau 1). Pendant la période sèche (1970-1995), les apports fluviaux ont chuté de 46 % pour une baisse des précipitations de 19 % seulement. La rupture nette observée en 1970 sur la courbe d'évolution interannuelle des écoulements entrants dans le delta depuis 1907 est aussi observable sur celle de la lame d'eau précipitée (fig. 3).

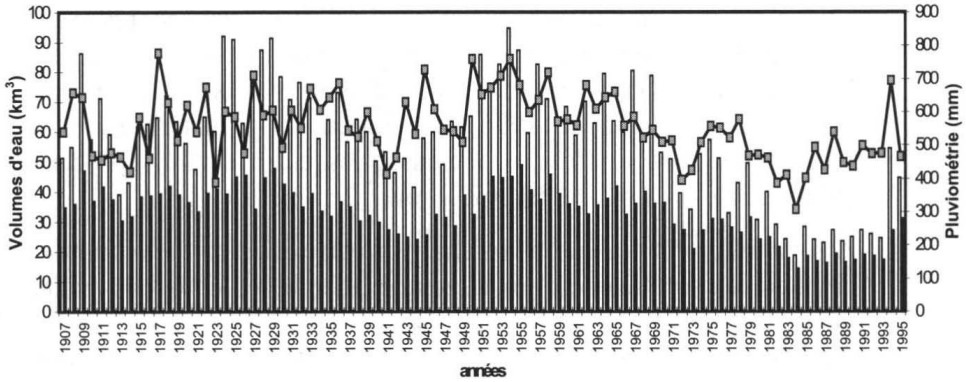


Figure 3. Évolution interannuelle de 1907 à 1995 des volumes d'eau en entrée et en sortie du delta (histogramme, en km³ par an) et de la pluviométrie (courbe, en mm).

21 La cause majeure de la diminution des ressources en eau dans le delta intérieur du Niger est en premier lieu la réduction des apports des bassins versants amont du delta. Ceci se traduit par un changement dans le rapport entre écoulement entrant et écoulement sortant. En période humide, les écoulements sortant représentent 54 % des écoulements entrants alors qu'ils constituent 65 % des écoulements entrants en période sèche. Les volumes écoulés sont en moyenne de 57,5 km³, variant pour les extrêmes annuels de 1 à 5 : 19 km³ en 1984 et 95 km³ en 1954. La moyenne de la période humide est de 66 km³ pour 36 km³ en période sèche. La lame d'eau écoulée perdue varie de 402 mm par an (29 km³) en période humide à 171 mm an^{-1} (12 km³) en période sèche (fig. 3), soit une diminution de plus de 57 %. L'apport moyen de la pluie aux écoulements sortant à Dire serait de seulement 6,5 %, soit 2 km³, fluctuant de 3 % à 11 % pour respectivement les périodes sèches et humides (de 1,4 à 2,8 km).

Variabilité hydrologique nord-sud dans le delta

22 Les débits mensuels pour les stations des lacs centraux (Aka sur le cours principal du fleuve Niger, Awoye sur son cours secondaire et Korientzé sur son cours tertiaire – respectivement d'ouest en est à la sortie des lacs centraux) sont disponibles sur la période commune de 1955 à 1996 en valeurs soit observées, soit reconstituées par corrélations mensuelles entre stations proches (Marieu *et al.*, 1998 ; Mahé *et al.*, sous-presse).

23 Les pertes annuelles en eau (différence entre écoulement entrant et écoulement sortant) sont en moyenne plus fortes dans la cuvette nord (10,5 km³) que dans la cuvette sud (8,2 km³), cette dernière étant pourtant 4 fois plus grande en surface totale – ou 2,5 fois en surface « deltaïque ». La perte spécifique (c'est-à-dire le volume annuel d'eau perdu par le système hydrologique et rapporté à la surface) est donc de 3,5 ou 5 fois plus importante au Nord qu'au Sud selon les limites de bassin utilisées, soit 700 mm an^{-1} au Nord et 145 ou 225 mm an^{-1} au Sud respectivement. Cela signifie que la cuvette nord prélève au réseau hydrographique trois ou cinq fois plus d'eau par unité de surface que la cuvette sud.

24 La cuvette sud fonctionne en plaine de transit, où la crue arrive sur un terrain recouvert d'une végétation déjà dense du fait de la pluie arrivée un mois plus tôt. Cette végétation limite les surfaces d'eau libre et donc l'évaporation. Dans la cuvette nord, l'inondation alimente de très nombreuses dépressions latérales où l'eau est piégée, formant alors d'immenses lacs périphériques (Mahé *et al.*, sous-presse ; Picouet *et al.*, ce volume) : les

surfaces d'eau libre y sont importantes, la température de l'air plus élevée et la couverture nuageuse plus faible, le potentiel évaporatoire y est donc beaucoup plus fort. De plus, lors d'importants débordements dans la zone nord, l'infiltration peut être également plus élevée, car les terrains rencontrés au-delà des fonds de mares et des berges sont alors essentiellement constitués de sols très sableux, voire de dunes vives. Cette différence géomorphologique se traduit par une évolution interannuelle très différente des pertes en eau des deux cuvettes (fig. 4). Si les pertes en eau de la cuvette nord suivent l'évolution des pertes sur l'ensemble du delta, les pertes en eau de la cuvette sud sont relativement stables, entre 15 % et 20 %. En effet, il n'apparaît pas – contrairement à la partie nord – de rupture dans le fonctionnement de cette partie du delta en 1971, date du début de la période de sécheresse. Par contre, les tests de rupture sur la série chronologique de la cuvette nord font apparaître 1971 comme point temporel de changement dans le fonctionnement hydrologique de cette zone géographique. Ce résultat est confirmé par des observations de terrain qui mettent en évidence des changements d'équilibre hydraulique entre les années 60 et 70 sur de nombreuses stations hydrologiques (Brunet-Moret *et al.*, 1986). Cette brusque diminution des pertes en eau de la cuvette nord entre la période humide et la période sèche, non enregistrée sur la cuvette sud, confirme l'importance du remplissage des lacs périphériques par effet de seuil dans le fonctionnement hydrologique de la cuvette nord. Ainsi durant les années 50, les pertes en eau dans la cuvette nord étaient 3,5 fois supérieures à celles de la cuvette sud : la remise en eau de nombreux lacs de rive gauche témoigne d'une extension importante de l'inondation durant cette période (Auvray, 1960). A partir de 1972, les pertes en eau de la cuvette nord ne sont plus que de 10 à 15 % (fig. 4). Sur l'ensemble du delta, les pertes en eau, qui se situaient entre 40 et 45 % de l'écoulement entrant avant 1971, sont aujourd'hui de l'ordre de 30 %.

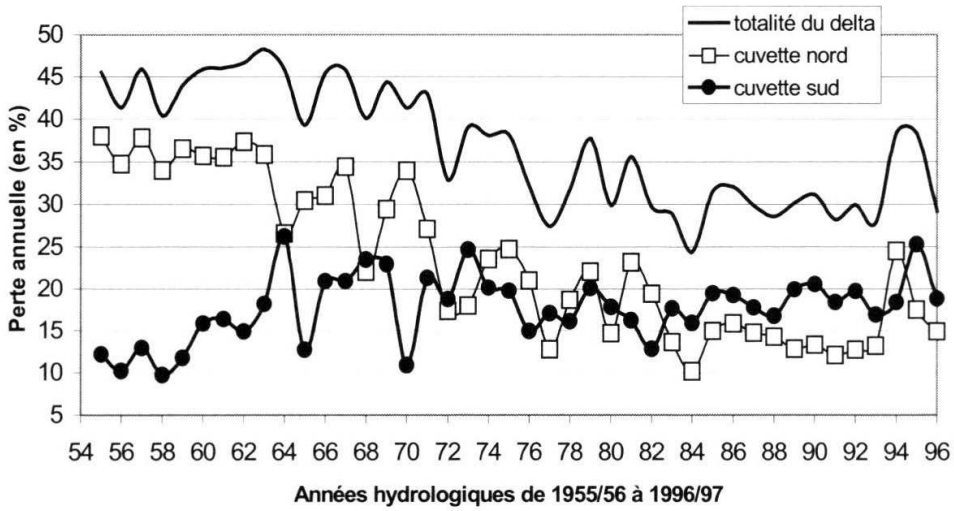


Figure 4. Comparaison des pertes annuelles en eau entre l'entrée et la sortie du delta avec les pertes de la « cuvette sud » et de la « cuvette nord », les pertes en eau étant entendues comme la différence entre les volumes écoulés entrants et sortants.

Conclusion

25 Comme l'ensemble du continent ouest-africain, le delta intérieur du Niger a subi très fortement les conséquences de la sécheresse durant ces trente dernières années. Entre les deux périodes 1907-1969 et 1970-1995, la réduction des apports fluviaux au delta est

d'environ 48 %, pour un déficit pluviométrique de 19 %. La diminution de la superficie inondée de ces dernières années est donc principalement due à la forte baisse des écoulements du Niger et du Bani. Cette lame d'eau écoulée entrante est passée de 908 mm an^{-1} en période humide (moyenne sur 1907-1969) à 492 mm an^{-1} en période sèche (moyenne sur 1970-1995), pour une lame d'eau précipitée variant entre 587 et 478 mm an^{-1} ; la lame d'eau précipitée peut être supérieure à la lame d'eau écoulée entrante. Mais le faible coefficient de ruissellement (de 5 % environ) confère à la lame de pluie ruisselée un caractère marginal dans la contribution à l'inondation. Aussi même en période sèche, la lame écoulée entrante représente la quasi totalité de l'eau écoulée dans le delta (de 89 à 97 %).

26 La situation récente de sécheresse a apporté une modification importante dans les pertes en eau du delta. En période humide, la lame d'eau écoulée perdue est de 402 mm an^{-1} pour seulement 171 mm an^{-1} en période sèche, la lame d'eau précipitée évaporée ou infiltrée étant réduite de 100 mm environ (de 558 à 454 mm par an). Ainsi, entre la période humide et la période sèche, la perte en eau par évaporation est passée de 40 % à 50 % du volume d'eau total apporté au delta. L'ensemble des paramètres climatiques étudiés (pluviométrie, température de l'air, évaporation potentielle et nébulosité) montre un gradient nord-sud, positif ou négatif selon le paramètre envisagé ; et seules la pluviométrie et la nébulosité montrent un gradient secondaire positif est-ouest. Cette variabilité spatiale nord-sud se surimpose à la différence géomorphologique entre une plaine d'inondation, au sud des lacs centraux du delta, et un erg inondable au nord. En effet, la cuvette nord prélève cinq fois plus d'eau que la cuvette sud du fait des effets cumulés de l'alimentation en eau de lacs périphériques, de paramètres climatiques plus favorables à l'évaporation, de l'existence de surfaces d'eau libre plus importantes et d'une possibilité d'infiltration sur les bordures dunaires. Le fonctionnement hydrologique de la cuvette sud ne semble pas subir de modification importante suite à la sécheresse, au contraire de la cuvette nord qui perd sa capacité à remplir les lacs périphériques. Le changement homogène de la répartition spatiale des pluies entre la période humide et la période sèche semble indiquer que ce sont uniquement les caractéristiques géomorphologiques du delta qui ont accentué l'opposition Nord-Sud dans le delta.

Remerciements

27 Nous tenons à remercier les directions nationales et régionales maliennes de la météorologie et de l'hydrologie. Cette étude a été co-financée par le Gip-Hydrosystèmes (ministère de la Recherche, Paris) dans le cadre du projet de recherche Gihrex de l'IRD.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Auvray C., 1960 – *Monographie du Niger, B : la cuvette lacustre.* Paris, Orstom : 12-45.

Bamba F., Mahé G., Bricquet J.-P., Olivry J.-C, 1996 – « Changements climatiques et variabilité des ressources en eau des bassins du Haut Niger et de la cuvette lacustre ». *In : XII^es Journées hydro.'Orstom,* Paris, IRD.

Bamba F., Fofana M. L, Mahé G., 1999– *Spatialisation des données météorologiques dans le delta intérieur du Niger.* Études et rapports Gihrex, ER41, IRD, Bamako, 61 p.

Bricquet J.-P., Mahé G., Bamba F., Olivry J.-C, 1996 – « Changements climatiques récents et modifications du fleuve Niger à Koulikoro (Mali) ». *In : L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement,* IAHS Publ., 238 : 157-166.

Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.-P., Molinier M., 1986 – *Monographie hydrologique du fleuve Niger.* Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 2 tomes, 902 p.

Guiguen N., 1985 – *Études hydrologiques complémentaires de la cuvette lacustre du Niger, rapport final.* Autorité du bassin du Niger, projet Hydroniger, Orstom, Bamako, 71 p.

Lamagat J.-P., Sambou S., Albergel J., 1996 – « Analyse statistique de l'écoulement d'un fleuve dans une plaine d'inondation : application aux côtes maximales du fleuve Niger dans la cuvette lacustre ». *In : L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement,* IAHS Publ., 238 : 367-379.

Mahé G., Delclaux F., CrespyA., 1994 – Élaboration d'une chaîne de traitement pluviométrique et application au calcul automatique de lames précipitées (bassin versant de l'Ogooué au Gabon). *Hydrologie Continentale,* 9 (2) : 169-180.

Mahé G., Olivry J.-C., 1995– Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse,* 6 (1) : 109-117.

Mahé G., Olivry J.-C, 1999 – Assessment of freshwater yields to the océan along the intertropical Atlantic coast of Africa. *C. R. Acad. Se,* Paris, série II a, 328 : 621-626.

Mahé G., Olivry J.-C, Dessouassi R., Orange D., Bamba F., Servat E., 2000 – Relations eaux de surface-eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. *C. R. Acad. Se,* Paris, série II a, 330 : 689-692.

Mahé G., L'Hote Y., Olivry J.-C, Wotling G., 2001 – Trends and discontinuities in régional rainfall of west and central Africa, 1951-1989. *Hydrological Sciences Journ al.,* 46 (2) : 211-226.

Mahé G., Bamba F., Soumaguel A., Orange D., Olivry J.-C, in-press – Water losses in the Niger river inner delta : water balance and flooded surfaces. *Hydrological Processes J.*

Marieu B., Bamba F., Bricquet J.-P., Cissé N., Gréard M., Henry des Tureaux T., Mahé G., Mahieux A., Olivry J.-C, Orange D., Picouet C, Sidibé M., Touré M., 1998 – *Actualisation des données hydrométriques du fleuve Niger au Mali pour Equanis.* Études et rapports Gihrex, ER32, IRD, Bamako, Mali, 81 p.

Marieu B., 2000 – *Étude hydrologique de la mare de Batamani.* Études et rapports Gihrex, ER46, IRD, Bamako, Mali, 28 p.

Olivry J.-C, 1993 – « Évolution récente des régimes hydrologiques en Afrique intertropicale ». *In* Griselin M. (éd.) : *L'eau, la terre et les hommes, hommage à René Frecaut,* Presses universitaires de Nancy : 181-190.

Olivry J.-C, 1995 – « Fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta intérieur ». *In* Olivry J.-C, Boulègue J. (éd.) : *Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone,* Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 267-280.

Orange D., Wesselink A. J., Mahé G., Feizouré C. T., 1997 – "The effects of climate changes on river baseflow and aquifer storage in Central Africa". *In : Sustainability of water resources under increasing uncertainty,* IAHS Publ., 240 :113-123.

Picouet C, 1999 – *Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé : le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur.* Thèse doct. Sciences, univ. Montpellier, 454 p.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées : l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

Pouyaud B., 1987– « Variabilité spatiale et temporelle des bilans hydriques de quelques bassins versants d'Afrique de l'Ouest en liaison avec les changements climatiques ». *In : The influence of climate change and climate variability on the hydrologie regime and water resources,* IAHS Publ., 168.

Quensière J.(éd.), 1994 – *La pêche dans le delta central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Soumaguel A., 1996 – *Élaboration des fichiers opérationnels pour le calcul régionalisé des pluies par la méthode du vecteur régional (MVR) sur le bassin du Niger.* Études et rapports Gihrex, ER1, IRD, Bamako, Mali, 34 p.

Wotling G., Mahé G., L'hote Y., Le Barbe L, 1995 – Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine. *Veille Climatique Satellitaire,* 52 : 58-73.

NOTES

1. Surface délimitée dont le fonctionnement est assimilé à celui d'un bassin versant.
2. Kuper M., Mullon C, Poncet Y., Benga E., Morand P., Orange D., Mahé G. Arfi R., Bamba F., ce volume – « La modélisation intégrée d'un écosystème inondable : le cas du delta intérieur du Niger ». *In : partie 4.*

AUTEURS

GIL MAHÉ

Hydrologue. IRD, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina-Faso,

FATOGOMA BAMBA

Hydrologue. École Nationale d'Ingénieur, Bamako, Mali,

DIDIER ORANGE

Hydrologue. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France,

LAMINE FOFANA

Météorologue. Direction Nationale Météorologie, BP 237, Bamako, Mali,
mamadou.lamine.fofana@caramail.com

MARCEL KUPER

Hydraulicien. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France,
kuper@cirad.fr

BERTRAND MARIEU

Hydrologue. Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France,
Bertrand.Marieu@msem.univ-montp2.fr

ABDOURHAMANE SOUMAGUEL

Météorologue. Direction Nationale Hydraulique, BP 66, Bamako, Mali,
dnhe@malinet.ml

NAVON CISSÉ

Hydrologue. Direction Nationale Hydraulique, BP 66, Bamako, Mali,
dnhe@malinet.ml

Crues et inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal

Alioune Kane

1 Les inondations récentes de la ville de Saint-Louis du Sénégal posent avec acuité le problème de sa protection en période de hautes-eaux. Cet article analyse la variabilité interannuelle des niveaux de crue du fleuve Sénégal à son embouchure pour comprendre le pourquoi des inondations actuelles malgré la sécheresse qui sévit dans cette région depuis une trentaine d'année.

Les conditions hydroclimatiques

Les crues exceptionnelles des siècles derniers

2 Les récits des voyageurs, les documents historiques et les anciennes cartes géographiques confirment l'importance des crues et des débordements du fleuve Sénégal dès avant 1903, début des premières mesures de hauteurs d'eau. Les grandes crues répertoriées sont celles de 1827, 1841, 1843, 1853. Mais déjà en 1638, date de l'installation des Français dans l'île de Baba Guèye à proximité de l'embouchure du fleuve, Rochefort (Hardy, 1921) signalait que « les débordements du fleuve étaient si grands que leurs habitations étaient pleines d'eau jusqu'au premier étage... ». Ce n'est qu'en 1659 que les Français s'installeront définitivement sur l'emplacement actuel de la ville de Saint-Louis. Dia (1999) mentionne qu'à la suite des inondations catastrophiques survenues en 1841 et 1853, les Français désirent protéger la ville contre les débordements du fleuve, « mais c'est surtout la nécessité de l'expansion coloniale qui commande les réalisations faites pour empêcher les dégâts provoqués par la furie des eaux ». Les témoignages sont concordants : les travaux d'aménagements entrepris en 1859 par Faidherbe sur le Kassack (défluent de la basse vallée) pour constituer une réserve d'eau douce furent emportés par la crue. Vers 1860, le lieutenant de vaisseau Braouzec navigua à bord d'une canonnière sur les terres inondées du Fouta-Ferlo aujourd'hui désertiques. A la suite de ce voyage, on conçut même le projet de « gagner la Gambie par le lac de Guiers et la vallée du Ferlo ». Les débordements étaient parfois tellement importants que les eaux du fleuve se

répandaient fort loin en Mauritanie. Durand (1875) rapporte « qu'entre le cap Mirick et la petite île de Tider, à 18 lieues environ d'Arguin, on voyait l'embouchure de la rivière Saint-Jean grossie par les eaux du Sénégal ». Gallieni, en 1879, notait l'importance de l'inondation dans le Wallo. Enfin, la crue de 1890 fut tellement forte que le colonel Frey rapporte que « la ville de Saint-Louis se trouva en partie submergée et que dans cette nouvelle Venise, la circulation n'était possible qu'à l'aide de bacs ou de pirogues » (photo 1). Selon Duchemin (1951), « l'eau de cette année (1890) aurait atteint les salines de Nouaremach situées à 100 km de Nouakchott ». Selon une autre version, l'eau du Sénégal serait remontée jusqu'à Tirvourvour et aurait rejoint les eaux qui descendaient de l'Adrar par la vallée de l'Oued Targa.

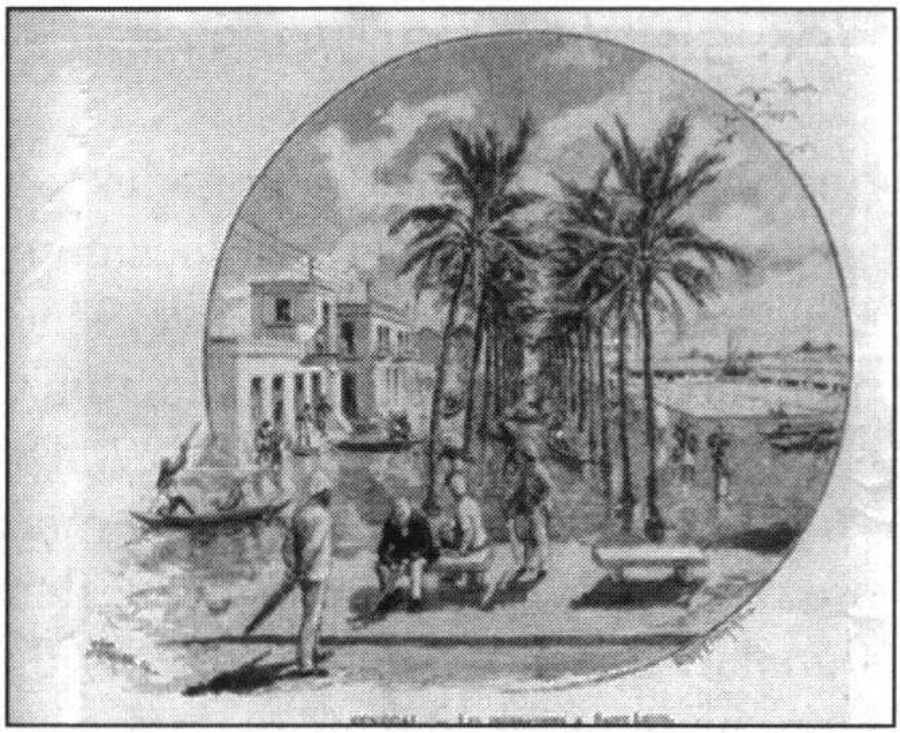


Photo 1. Inondation à Saint-Louis lors de la crue 1890/1891 (source : *Le Monde illustré,* n° 1763, du 10 janvier 1891, P– 37).

3 Il faudra attendre le début du vingtième siècle sous l'impulsion des gouverneurs Valière, Protêt puis Faidherbe, pour doter Saint-Louis de quais modernes (Dia, 1999). On croyait alors l'île Saint-Louis définitivement sauvée des eaux d'inondation.

La diminution des apports fluviaux

4 Si la période d'avant 1903 a été caractérisée par des crues importantes du fleuve Sénégal entraînant des inondations mémorables, un profond bouleversement climatique semble être intervenu à la fin du siècle dernier se traduisant par une diminution importante des écoulements fluviaux. Au cours du vingtième siècle, les variations observées dans les écoulements du fleuve Sénégal mettent en évidence, à l'amont comme à l'aval, une période déficitaire très marquée depuis 1968 (fig. 1) (Kane, 1985 ; Orange, 1992).

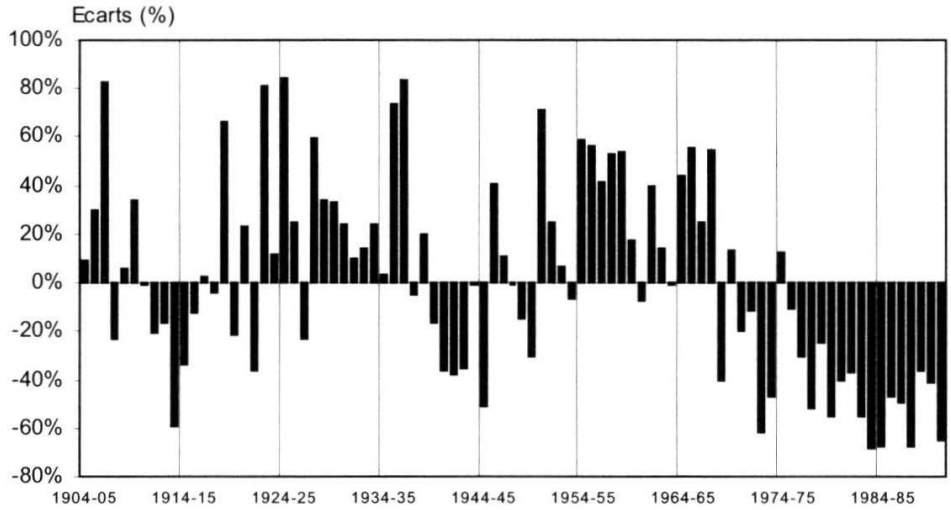


Figure 1. Excédent et déficit d'écoulement annuel par rapport au module moyen interannuel (Qm = 675 $m^3 s^{-1}$) à la station de Bakel, en pourcentage du rapport (Qi – Qm / Qm) avec Qi, le débit moyen de l'année i.

5 Indépendamment de la réduction des précipitations sur le haut– bassin, qui ont provoqué cette importante diminution des écoulements du fleuve et donc des hauteurs de crue, d'autres causes sont également responsables du changement de régime du fleuve Sénégal durant ce vingtième siècle, notamment le déboisement et le défoncement du seuil de Faff. En effet, le delta du Sénégal se trouvait limité par un seuil haut de 1,50 m environ qui barrait le fleuve à la hauteur de Faff (situé à 125 km en amont de Saint-Louis). Ce seuil était utilisé par les Maures du Trarza lors de leurs pillages sur la rive gauche du fleuve. Notons que sa présence a été contestée par les ingénieurs de la Mission d'aménagement du Sénégal qui affirmaient « qu'une telle barre rocheuse à 125 km de Saint-Louis ne s'expliquait pas géologiquement ». Pourtant, Bancal (1924), un érudit saint-louisien, mentionnait « que les eaux de crue venant se heurter à cet obstacle, s'élevaient au-dessus des rives, se répandaient très loin dans les plaines limitrophes » provoquant ainsi les grandes inondations rapportées par la tradition orale. Ce seuil aurait été arasé en 1890. L'ouverture pratiquée dans sa partie centrale pour livrer passage aux eaux de crue aurait eu pour conséquence de limiter l'importance et la durée des inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal.

6 Le haut-bassin, la vallée et le delta étaient des régions boisées, comme en témoignent les relations de voyage des explorateurs du XVII^e^ siècle. Adanson en 1748 (*in* Hubert, 1920) décrit une végétation luxuriante avec des forêts de palétuviers, des peuplements de gonakiers, etc. Cette forêt a fait l'objet d'une exploitation systématique pour la construction des villes, la navigation à vapeur et la fourniture de bois de chauffe. Le recul progressif de la végétation a accentué le régime torrentiel et facilité l'écoulement rapide des eaux de surface : « le fleuve se caractérise désormais par une chasse plus puissante que par le passé » (Giraud, 1951). Le fleuve a davantage creusé son lit, il s'est alors rapproché de son profil d'équilibre et a cessé ses grandes divagations. Dans sa partie aval, le Sénégal est devenu un fleuve irrégulier, incertain et capricieux avec un régime torrentiel. Les transformations des écosystèmes furent radicales. Dès le XVIII^e^ siècle, l'exutoire des Maringouins par où transitaient les eaux du Sénégal a été totalement comblé. Le réseau hydrographique du bas-Sénégal, autrefois étendu et régulièrement alimenté, se voit transformé en vallées asséchées livrées au colmatage par l'avancée des

sables. La dernière inondation naturelle de la vallée du Bounoum (dans le Ferlo) remonterait à 1861 selon Hubert (1922).

7 L'accentuation progressive de l'aridité due à la réduction des précipitations n'a fait qu'accentuer le changement de régime fluvial du fleuve Sénégal. Les dernières grandes crues enregistrées au XX^e siècle furent celles de 1906, 1922, 1924, 1935, 1936, 1950 (photo 2) et semblaient appartenir à un passé à jamais révolu. Depuis 1968, l'évolution récente du fonctionnement naturel des écoulements du fleuve Sénégal est marquée par un appauvrissement généralisé des ressources en eau. Cette sécheresse, avec deux paroxysmes en 1972 et 1984, est remarquable par sa durée et par l'ampleur des déficits d'écoulement, de l'ordre de 40 % en moyenne. Elle concentre 18 des 20 plus faibles modules annuels observés depuis 1903/1904. A l'exception de 1969, 1974, 1994 (et certainement 1999), toutes les autres années sont largement déficitaires (Faure et Gac, 1979).



Photo 2. Dernière grande inondation à Saint-Louis en 1950.

Des barrages pour lutter contre la sécheresse

Pour une maîtrise des écoulements déficitaires

8 Depuis deux à trois décennies, de grands programmes d'aménagements hydro-agricoles – barrages, endiguements, canaux d'irrigation ou de drainage – ont été développés pour se libérer des contraintes naturelles (irrégularité pluviométrique, caractère aléatoire de la ressource en eau) et surtout maîtriser le développement en artificialisant le régime du fleuve Sénégal. C'est l'ère des grands barrages avec l'avènement de Diama en 1985 comme barrage anti-sel à l'entrée du delta, et de Manantali en 1987 comme barrage hydroélectrique sur le bassin amont au Mali. Avec ce régime régularisé du fleuve Sénégal, le fonctionnement du système est à la fois tributaire de la pluviométrie du haut-bassin et du mode de gestion des barrages. Le régime des écoulements s'est alors trouvé modifié. On enregistre un rehaussement généralisé de la ligne d'eau du fleuve Sénégal. En effet, le suivi des hauteurs d'eau montre l'influence du barrage de Manantali sur toutes les stations de la vallée du fleuve Sénégal à partir de 1990 (fig. 2).

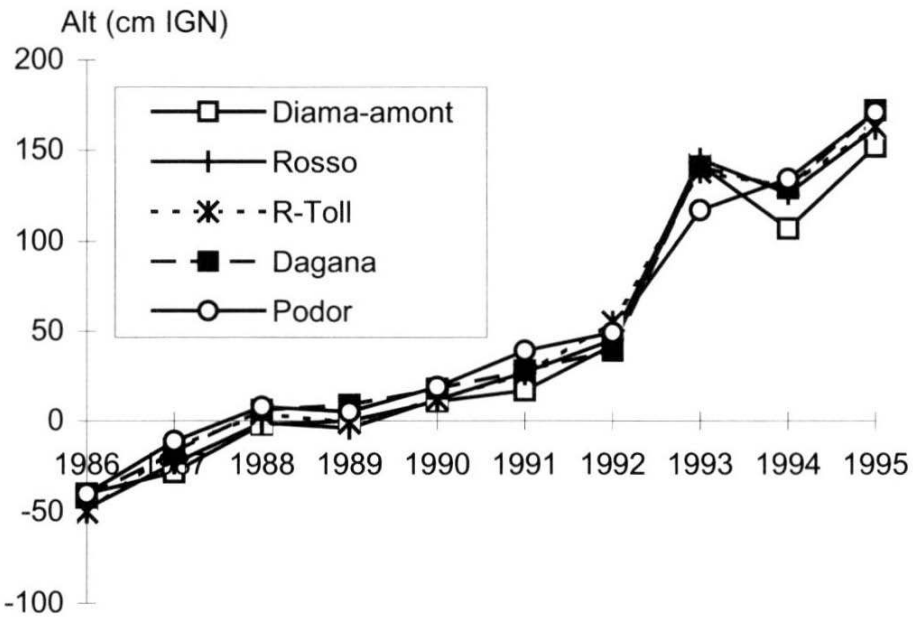


Figure 2. Évolution des hauteurs minimales extrêmes dans les stations de la basse vallée du fleuve Sénégal.

9 A la station de Bakel, entrée de la plaine alluviale à 500 km de Saint-Louis, la remontée est de plus de 1,30 m au-dessus du niveau théorique obtenu sans les lâchers d'eau de Manantali. Dans la basse vallée et dans le delta (fig. 2), la remontée est également spectaculaire (1,92 m IGN à Diama-amont ; 2,10 m à Rosso ; 2,13 m à Richard-Toll ; 2,14 m à Dagana ; 2,11 m à Podor). A Diama, les côtes du plan d'eau, qui passaient en dessous du niveau de la mer en période de faible hydraulicité, se maintiennent désormais à un niveau supérieur à + 1,00 m IGN grâce à la mise en place des digues latérales, à leur renforcement et aux lâchers opérés depuis le haut-bassin. L'étiage bénéficie d'un soutien variable d'une année à l'autre. La remontée du niveau d'étiage du fleuve se traduit dès 1993 dans la basse vallée par une élévation de 50 cm en moyenne du toit des nappes alluviales (OMVS, 1990), qui sont dès lors très rapidement saturées.

10 L'évolution des débits mensuels reste unimodale avec un maintien au mois de septembre du maximum principal (fig. 3). Une légère augmentation des débits est perceptible au mois de mars. L'observation des débits journaliers à Bakel permet de constater une réduction des débits de crue, phénomène qui s'explique par l'apport contrôlé du Bafing par le barrage et par les déficits hydrologiques des deux affluents que sont le Bakoye et la Falémé. A Diama, les débits de crue atteignent à peine 2 000 $m^3 s^{-1}$ contre 4 000 $m^3 s^{-1}$ antérieurement.

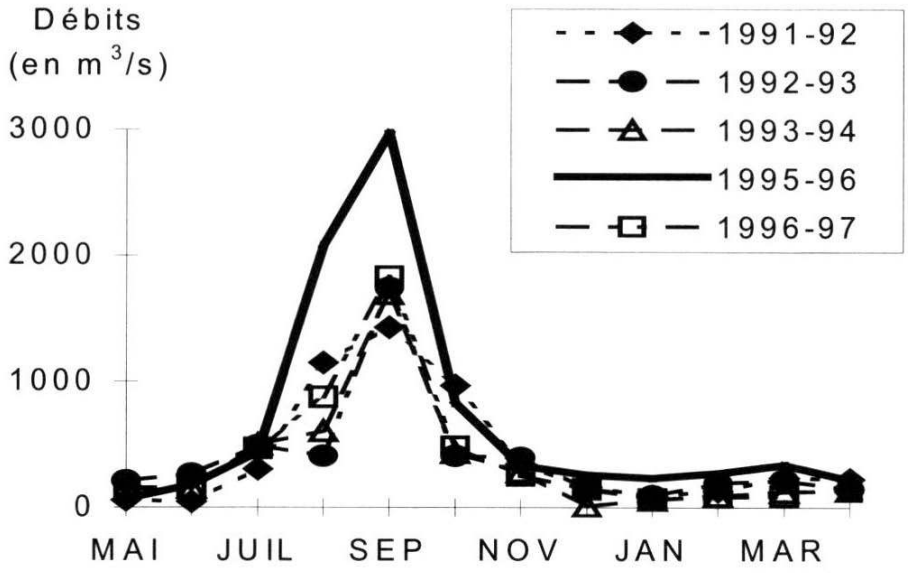


Figure 3. Évolution de l'hydrogramme de crue à Bakel après la mise en service du barrage de Manantali.

Des inondations de plus en plus fréquentes malgré la baisse des maximums de crue

11 Les premiers débordements importants récents ont été constatés au cours de la saison des hautes-eaux 1994/1995 correspondant à une crue moyenne. En 1994, 120 000 personnes se sont retrouvées sans toit dans la région de Saint-Louis, occasionnant le déplacement des populations en proie à des problèmes sanitaires et à l'inondation des terres cultivables. Cette année-là, le débit maximum observé pendant la crue à Bakel fut de 4 160 $m^3 s^{-1}$ le 1^{er} septembre 1994, valeur qui n'avait jamais été dépassée depuis le pic de 4 800 $m^3 s^{-1}$ enregistré en 1975. Cependant, des débits plus importants ont déjà été observés sans déclencher les inondations catastrophiques de nos jours, comme par exemple le débit journalier le plus élevé observé à Bakel en septembre 1967 avec 6 740 $m^3 s^{-1}$.

12 Les inondations de 1994 s'expliqueraient par la conjonction de plusieurs faits. L'hivernage a été particulièrement pluvieux, qualifié d'ailleurs de « saison des pluies la plus humide depuis 30 ans dans le Sahel occidental ». De fortes averses se sont abattues sur une grande partie de la zone sahélienne, notamment dans le delta du Sénégal avec un record de 132 mm de précipitation relevée en quelques heures le 21 septembre 1994 à Saint-Louis, qui de surcroît enregistrait en même temps une marée haute. En effet, la houle marine fort agitée en période hivernale sur le littoral empêche l'écoulement des eaux fluviales et concourt à un relèvement du niveau de l'eau dans tous les bras du fleuve ainsi que celui de la nappe phréatique (Diack, 2000). Il faut ajouter à cela les apports importants des affluents non encore dotés d'ouvrages de régulation des eaux, en l'occurrence le Bakoye et la Falémé, qui ont joué un rôle majeur dans le déclenchement des inondations. De plus, l'OMVS a dû opérer des lâchers représentant environ 40 % des volumes écoulés. Par ailleurs, la modification du régime des écoulements a provoqué la saturation en eau des sols consécutive à la remontée du toit des nappes, aujourd'hui pratiquement affleurantes. Enfin, l'occupation anarchique des sols a conduit à la stagnation des eaux de pluies en

l'absence de drainage ou encore à des dépôts d'ordures contribuant à rendre les écoulements très lents vers les bras du fleuve, etc.

13 De plus, l'endiguement du delta en 1964 a modifié les conditions naturelles d'alimentation des dépressions périphériques qui ne peuvent plus jouer leur rôle tampon d'accumulation du trop plein d'eau. Les cuvettes ne sont plus inondées à cause du détournement de la submersion naturelle. Les zones lagunaires du Gandiolais et les secteurs dépressionnaires des Trois-Marigots, du Khant et même du Ndiaël ne bénéficient plus régulièrement des crues fluviales. Ainsi, la grande cuvette du Ndiaël qui s'étend sur les marges orientales du delta fait partie des régions autrefois envahies par les eaux de crue. Sa surface en eau pouvait varier de 10 000 à 30 000 ha entre année sèche et année humide. Selon des témoignages recueillis dans les années 30, des pirogues remontaient de Saint-Louis vers lac de Guiers en passant par le chenal du Niéti-Yone. Depuis les années 50, le colmatage de ce chenal, puis sa fermeture pour empêcher toute alimentation significative par les chenaux du Nord afin de sécuriser le lac de Guiers, empêche toute communication avec le fleuve. La cuvette fonctionne actuellement comme un exutoire des eaux de drainage des casiers sucriers et rizicoles. Cette chenalisation des écoulements fait qu'aujourd'hui les eaux aboutissent dans le bas estuaire où viennent s'accumuler les sédiments.

14 Ainsi, la mise en place d'aménagements hydrauliques complexes dans le delta du fleuve combinée à la construction d'un grand barrage n'ont pas suffi au contrôle des inondations.

De la nécessité d'une gestion concertée

15 Dans ce contexte, faut-il incriminer les barrages ? Les populations répondent volontiers par l'affirmative, tant elles sont dans le désarroi le plus total, submergées par des eaux en excès dont ni motopompes ni diguettes de protection en sable n'arrivent à enrayer la propagation. Elles croient encore plus difficilement à la régulation des débits par Manantali et à l'évacuation du surplus d'eau vers l'océan avec l'ouverture des vannes de Diama.

16 Et pourtant il semble que les barrages ont joué un rôle important dans le laminage des crues. « La présence des barrages a été capitale dans le contrôle de la crue, sinon ce serait des débits largement supérieurs à 2 000 $m^3 s^{-1}$ qui auraient déferlé vers Saint– Louis et la situation dans cette ville serait de loin plus catastrophique qu'elle ne l'a été au cours de la crue » revient comme un leitmotiv, eu égard à la pression foncière et à l'occupation anarchique de l'espace depuis quelques années. En 1999, ce sont les mêmes explications qui sont encore avancées, malgré une plus grande maîtrise dans la gestion des barrages, l'édification d'une digue périphérique en terre stabilisée d'un coût d'un milliard de francs CFA (avant dévaluation) dont l'efficacité reste à prouver et en l'absence de tout phénomène – hydrologique, pluviométrique ou marégraphique – exceptionnel (photo 3).

17 En fait, ces différents programmes d'aménagement n'ont pas évalué les impacts à long terme de la gestion des barrages, engendrant des dysfonctionnements – voire un nouveau fonctionnement – hydrologiques du bassin du Sénégal. Cette absence de politique de gestion concertée, qui aurait pris en compte tous les aspects de la vie de l'écosystème et de son anthropisation, provoque des dysfonctionnements sociaux catastrophiques et compromet un développement durable.



Photo 3. Les dernières inondations à Saint-Louis en 1999, sur le même emplacement de la gravure de 1871 de la photo 1.

Conclusion

18 Les constructions de grands barrages peuvent se traduire par des modifications radicales du fonctionnement hydrologique d'un grand bassin fluvial. Ces bouleversements peuvent prendre un caractère particulièrement grave, notamment lorsqu'ils se conjuguent avec l'installation des populations dans des zones inondables appartenant au lit majeur du fleuve, qui est de plus en plus occupé par des aménagements de périmètres hydroagricoles et par une urbanisation non contrôlée. On peut effectivement s'interroger (Dia, 1999) : « tout n'est-il pas à refaire ? ». Pour lutter efficacement contre les inondations, il est impératif de procéder à un relèvement des quais qui ne peuvent aujourd'hui contenir une crue moyenne, d'édifier des digues sur les zones menacées, mais il s'agit surtout d'aménager en redonnant au fleuve des zones d'épandage (remise en eau du Ndiaël, d'autres pensent revitalisation des vallées fossiles, etc.). Nous menons actuellement des investigations sur les modifications de la zone estuarienne, notamment sur les effets de l'allongement de la Langue de Barbarie sur la bathymétrie de la zone en aval de Saint-Louis. Tout l'enjeu est de parvenir dans le cadre de l'après barrages à une meilleure compréhension de la nouvelle dynamique fluviale, et à une bonne connaissance du fonctionnement actuel de l'ensemble de l'hydrosystème et de son anthroposystème dans un bassin versant aujourd'hui très fortement anthropisé.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bancal P., 1924 – *Le problème de l'eau au Sénégal.* Rapport multigr., Bordeaux, 107 p.

Duchemin G., 1951 – L'inondation de l'Aftout-es-Sahel et du poste de Nouakchott (Mauritanie : Trarza occidental). *Bull. Ifan* : 1303-1305.

Durand J. B. L, 1875 – *Atlas pour servir au voyage du Sénégal.* Paris, Agasse, 67 p.

Dia F., 1999 – Inondations à Saint-Louis : aujourd'hui comme il y a 300 ans. Dakar, Sénégal., *L'événement historique, Sud week-end,* 30 octobre 1999, n° 1973.

Diack A., 2000 – Comment sauver Saint-Louis du péril hydraulique. Dakar, Sénégal., *Walffadjri,* 16 mai 2000, 2451 : 10.

Faure H., Gac J.-Y., 1981 – Will the sahelian drought end in 1985 ? *Nature,* 291 : 475-478.

Giraud M., 1951 – *Rapport sur le régime du fleuve Sénégal pendant la grande crue de 1950.* Rapport Mission d'aménagement du fleuve Sénégal., Saint-Louis, Sénégal., 19 p.

Hardy G., 1921 – *La mise en valeur du Sénégal de 1817 à 1854.* Paris, Larose, 376 p.

Hubert H., 1920 – Le dessèchement progressif en Afrique occidentale française. *Bull comm. d'études hist. et sc. AOF,* Larose, Paris : 401-467.

Hubert H., 1921 – *Eaux superficielles et souterraines du Sénégal.* Paris, Larose, 30 p.

Kane A., 1985 – *Le bassin du Sénégal à l'embouchure : contribution à l'hydrologie fluviale en milieu tropical humide et à la dynamique estuarienne en domaine sahélien.* Thèse doct. 3e cycle, univ. Nancy II, 205 p.

Olivry J.-C, Bricquet J.-P., Mahé G., 1993 – Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide. *IAHS Publ.,* 216 : 66-78.

OMVS, 1990 – *Rapport de synthèse hydrogéologique sur le delta du fleuve Sénégal.* Projet OMVS/USAID 625-0958 Saint-Louis, Sénégal.

Orange D., 1992 – Hydroclimatologie du Fouta Djalon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest). *Mémoire Se. Géol.,* Strasbourg, 93, 198 p.

AUTEUR

ALIOUNE KANE

Géographe. Ucad, Département de Géographie, Dakar, Sénégal,

Hydrologie, agro-écologie et superficies d'inondation dans le delta intérieur du Niger

Didier Orange, Gil Mahé, Lamine Dembélé, Cheik Hamalla Diakité, Marcel Kuper et Jean-claude Olivry

1 Le delta intérieur du fleuve Niger au Mali est un vaste ensemble inondable au centre du Sahel, de 30 000 à 40 000 km^2 environ et d'un intérêt majeur tant pour l'économie du pays que pour la conservation de la biodiversité, qui dépendent très largement de la superficie annuelle inondée. Plusieurs études récentes ont montré l'importance de l'étendue annuelle de l'inondation sur la productivité du milieu (Laë, 1994 ; Kuper *et al.*, 1999) et par voie de conséquence sur la richesse des populations (Veeneklaas *et al.*, 1990 ; Quensière, 1994). Or depuis les années 70, le continent africain est soumis à une sécheresse sans précédent (Mahé et Olivry, 1995, 1999 ; Paturel *et al.*, 1997 ; Mahé *et al.*, 2001), qui a occasionné une baisse importante du niveau des eaux de surface et souterraines, notamment au Mali (Bricquet *et al.*, 1996 ; Mahé *et al.*, 2000). Cette baisse des écoulements a provoqué une réduction des surfaces inondées dans le delta intérieur du Niger, entraînant des problèmes graves d'exploitation pour les populations de la zone qui vivent au rythme de son remplissage et de sa vidange (Quensière, 1994 ; Marie, 2000). Devant cette situation de crise induite par vingt ans de déficit hydrologique, la lutte contre la pauvreté et pour le développement économique de cette région aux capacités de production exceptionnelles pour une région sahélienne passe par une gestion efficace des eaux de surface. La connaissance de la dynamique spatio-temporelle du cycle de l'eau mais surtout des potentialités annuelles d'inondation prévisible est donc une nécessité.

2 Dans cette étude, nous reprenons un modèle d'extension maximale annuelle d'inondation du delta intérieur construit à partir d'un découpage agro-écologique (Cissé et Gosseye, 1990) que nous testons à partir de données hydrologiques récentes. Les résultats sont comparés à ceux obtenus par un modèle d'inondation basé uniquement sur une approche hydrologique (Olivry, 1995 ; Mahé *et al.*, sous-presse). Notre propos est de préciser le fonctionnement hydrologique des plaines d'inondation du sud, de l'erg inondé du nord et des lacs périphériques en confrontant ces deux approches indépendantes, afin de

déterminer les superficies d'inondation de ces grandes composantes géographiques du delta en fonction des volumes d'eau provenant du bassin amont.

Cadre physique de l'étude

3 La « cuvette lacustre » du delta intérieur du Niger s'étend à l'aval des stations hydrologiques de Ké-Macina sur le fleuve Niger et de Douna sur le Bani, jusqu'à Dire au nord (figure I, hors texte). Ses limites correspondent à l'impluvium fonctionnel du delta ; sa superficie totale entre ces trois stations est d'environ 73 000 km^2, qui peut schématiquement être subdivisée en deux cuvettes, une au sud de 58 000 km et une au nord de 15 000 km^2, de part et d'autre de lacs centraux (respectivement d'ouest en est : le Wallado, le Débo et le Korientzé). Le sud-est de la cuvette sud est occupé par des petits bassins descendant des plateaux dogons (d'une superficie de 25 000 km^2) dont les réseaux hydrologiques inférieurs participent à la plaine d'inondation (figure I, hors texte) ; cependant leur contribution à l'écoulement reste modeste, environ 50 $m^3\ s^{-1}$ en module annuel (Auvray, 1960) ; 20 000 km^2 parmi ces 25 000 ne sont pas des surfaces deltaïques (Mahé *et al.*, ce volume[1]). De plus, les contours des cuvettes sud et nord ne comprennent pas les surfaces des lacs latéraux, qui occupent sur les marges de la cuvette nord de vastes superficies. Ils sont alimentés par le fleuve au fur et à mesure de la montée des eaux. L'existence de seuils à des niveaux variables à l'entrée de ces lacs provoque la retenue permanente de gros volumes d'eau lentement évaporés (Arfi *et al.*, 1999 ; Orange, 2000). Le système de lacs de la région de Goundam au nord-ouest de Diré (lacs Télé et Faguibine) n'est pas compris non plus dans le système hydrologique défini pour cette étude, car il est alimenté en aval de Diré, peu avant la « réelle » sortie du delta à Koryoumé (près de Tombouctou), à 60 km au nord-est de Diré (figure I, hors texte).

4 La cuvette lacustre ainsi définie englobe complètement la surface d'inondation maximale décrite par Poncet (1994) à partir de photographies aériennes, à l'exception du cône de sortie entre Diré et Tombouctou (figure I, hors texte), fonctionnel uniquement lors des années à forte hydraulicité. Cette superficie maximale d'inondation est estimée à 30 000 km^2.

Fonctionnement hydrologique

Données hydrologiques

5 Les débits mensuels pour les stations des lacs centraux (Aka sur le cours principal, Awoye sur le cours secondaire et Korientzé sur le cours tertiaire, respectivement d'ouest en est à la sortie des lacs centraux) sont disponibles sur la période commune 1955-1996 en valeurs observées ou reconstituées par corrélations mensuelles entre stations proches (Marieu *et al.*, 1998 ; Mahé *et al.*, ce volume). Aux stations amont et aval de la cuvette, les données mensuelles de débit sont disponibles à Ké-Macina depuis 1953 (reconstitution de 1924 à 1952 par corrélations mensuelles avec Koulikoro), à Douna depuis 1922 (1937 à 1950 reconstitués par corrélation pluie/débit) et à Diré depuis 1924 (Bamba *et al.*, 1996).

6 Sur la période 1955-1996, le débit moyen entrant dans le delta est de 1 490 $m^3\ s^{-1}$, le débit sortant à Dire est de 900 $m^3\ s^{-1}$ (tableau 1). La perte totale moyenne en eau est de 40 % du débit entrant moyen, soit un volume d'eau perdu de 18,7 $km^3\ an^{-1}$, variant sur la période

entre 4 et 39 $km^3\ an^{-1}$, soit respectivement 24 et 48 % (Mahé *et al.*, sous-presse). Les pluies sur la région varient entre 356 et 682 mm an^{-1}, pour une moyenne interannuelle de 545 mm an^{-1}. En négligeant l'infiltration, qui pourrait être compensée par les précipitations d'après les travaux de Guiguen (1985), de Brunet-Moret *et al.* (1986) et nos observations de terrain (Marieu, 2000), le total évaporé au-dessus du delta est estimé en moyenne à 800 mm an^{-1}, avec une variation annuelle de 400 à 1 300 mm an^{-1} pour les cycles 1984/85 et 1924/25 respectivement.

Tableau 1. Données hydrologiques moyennes du delta intérieur du Niger.
Delta amont : impluvium entre les entrées de Ké-Macina et Douna et les sorties des lacs centraux ; Delta aval : impluvium entre les lacs centraux et la sortie de Diré.

	Surface (km^2)	Période	Volume entrant ($km^3\ an^{-1}$)	Volume sortant ($km^3\ an^{-1}$)	Perte ($km^3\ an^{-1}$)	Perte spécifique ($m^3\ an^{-1}\ m^{-2}$)
Delta	58 000	*1955 - 1996*	*47,1*	*38,9*	*8,2*	*0,14*
amont		1955 - 1971	66,3	55,3	11,0	0,19
(au sud)		1972 - 1996	34,0	27,6	6,4	0,11
Delta	15 000	*1955 - 1996*	*38,9*	*28,4*	*10,5*	*0,70*
aval		1955 - 1971	55,3	36,8	18,5	1,23
(au nord)		1972 - 1996	27,6	22,6	5,0	0,33

Variabilité interannuelle des pertes en eau

7 Les pertes annuelles moyennes en eau dans la cuvette sont de 29,5 $km^3\ an^{-1}$ de 1955 à 1971, puis de seulement 11,4 km an^{-1} durant la période 1972-1996, soit près de trois fois moins. Cette différence de volume d'eau perdue (principalement par évaporation, l'infiltration étant négligeable) sur l'ensemble du delta est proportionnelle à la quantité d'eau entrant dans le delta (tableau 1) : en effet, il existe une relation linéaire entre les pertes totales en eau à la sortie du delta et les débits entrants, aussi bien pour les périodes avant ou après sécheresse (fig. 1). A l'échelle du delta, il ne semble donc pas y avoir eu de

changement de fonctionnement hydrologique suite à la sécheresse des années 1970. Mais qu'en est-il au niveau des sous-régions du delta ?

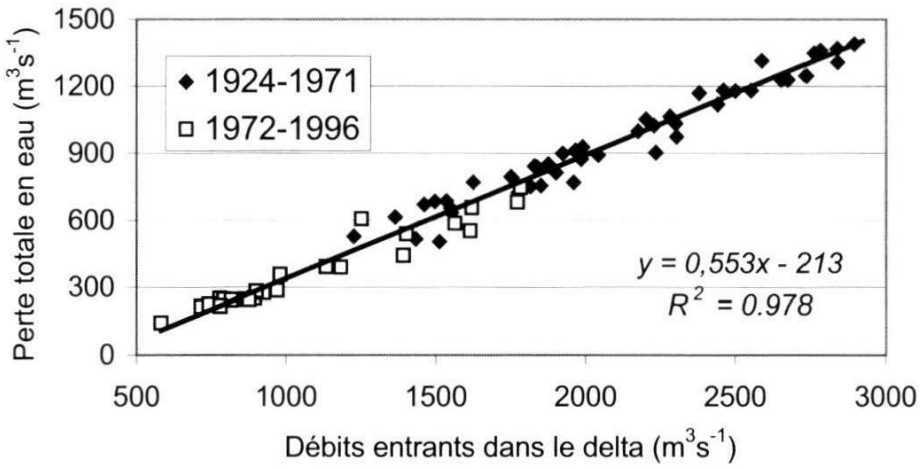


Figure 1. Relation entre pertes totales en eau dans le delta intérieur du Niger et les débits entrants du fleuve Niger (somme des débits de Ké-Macina sur le Niger et de Douna sur le Bani), pour la période avant sécheresse (1924-1971) et la période après sécheresse (1972-1996) (d'après Mahé *et al.*, sous presse).

8 Les pertes annuelles sont en moyenne depuis 1972 plus fortes dans la cuvette nord que dans la cuvette sud (tableau 1), cette dernière étant pourtant 4 fois plus grande en surface (ou 2,5 fois si l'on ne considère que les surfaces « deltaïques »), ce qui se traduit par des pertes spécifiques en eau plus importantes au nord qu'au sud. Les tests statistiques de rupture sur les séries hydrologiques du delta montrent en effet une différence de comportement entre la cuvette sud et la cuvette nord (Mahé *et al.*, ce volume). En fait, ce sont les relations entre pertes en eau et débits entrants qui changent (fig. 2). Si cette relation n'a pas changé dans la cuvette sud de 1960 à nos jours (enveloppe en pointillée sur la figure 2), elle a très largement évolué dans la cuvette nord depuis le début de la période de déficit pluviométrique, où on identifie très clairement deux populations de points, avant et après 1970. Les cuvettes sud et nord ont donc un fonctionnement hydrologique différent. Dans la cuvette sud, les pertes en eau augmentent linéairement avec les débits d'entrée jusqu'à 1 700 m^3 s^{-1}, puis pour des débits supérieurs les pertes augmentent peu jusqu'à 2 500 m^3 s^{-1} puis les valeurs se dispersent (fig. 2). Le schéma est plus complexe pour la cuvette nord, où les pertes en eau sont plus faibles que dans le sud pour des débits entrants inférieurs à 1 500 m^3 s^{-1} ; puis les pertes augmentent fortement pour devenir très largement supérieures aux pertes de la cuvette sud pour des débits entrants supérieurs à 1 700 m^3s^{-1}, ce qui correspond à des débits de la période 1955-70.

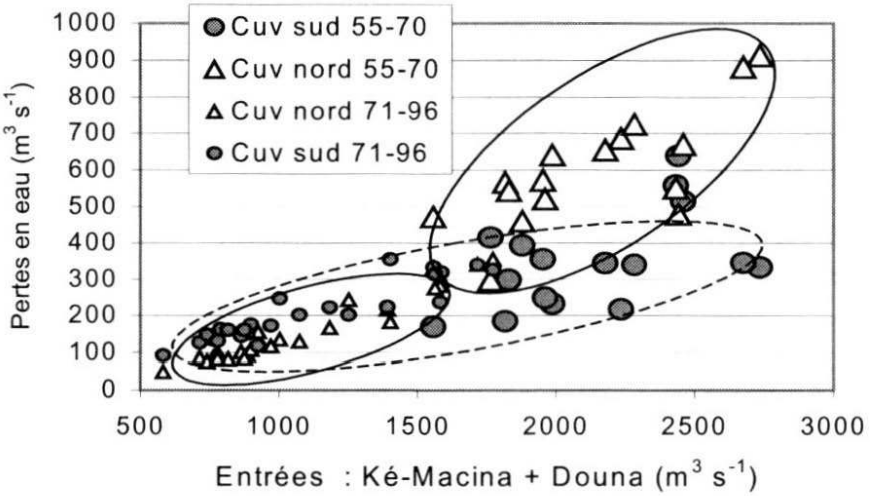


Figure 2. Pertes annuelles en eau (en $m^3 s^{-1}$) dans les cuvettes sud et nord du delta intérieur du Niger pour les périodes avant et après sécheresse (respectivement 1955-1970 et 1970-1996). Enveloppe en pointillés pour la cuvette sud ; enveloppes en trait plein pour la cuvette nord (d'après Mahé *et al.*, sous-presse).

9 Dans le sud, le pourcentage de perte annuelle en eau n'évolue pas significativement avec les forts débits des années 60, ce qui semble indiquer une limitation des surfaces inondables au sud ; par contre, dans le nord, les pertes annuelles en eau augmentent très fortement avec les entrées : les surfaces potentiellement inondables dans la cuvette nord augmentent donc brusquement pour des niveaux d'eau plus élevés (au contraire de la cuvette sud), ce qui favorise d'autant le pourcentage de pertes en eau par évaporation sur surface d'eaux libres, où le potentiel d'évaporation est plus fort.

Un modèle agro-écologique d'inondation

10 Suite aux travaux cartographiques du Pirt (1983), publiés par le ministère de l'Environnement et de l'Élevage de l'État malien, un modèle d'inondation basé sur la cartographie d'unités taxonomiques inondables dans les zones agro-écologiques constituant le delta a été réalisé par Cissé et Gosseye (1990). Nous en proposons ici, d'après les travaux de Dembélé (1999), une version ajustée aux nouvelles conditions hydrologiques prévalant aujourd'hui, à la suite des deux dernières décennies de déficit pluviométrique.

Les principes du modèle agro-écologique

11 L'approche utilisée par Cissé et Gosseye (1990) repose sur la cartographie des unités taxonomiques inondables associée à l'identification de leur fonctionnement hydrologique, par zone agro-écologique du delta. Le modèle aboutit à une relation entre la hauteur maximale de crue du fleuve Niger lue à l'échelle limnimétrique de Mopti et la superficie inondée maximale dans son delta intérieur par zone agro-écologique. Une zone agroécologique est définie comme étant une entité géographique homogène du point de vue géologique, géomorphologique, pédologique, climatique et hydrologique. Six zones agroécologiques recoupent la zone d'impluvium du delta définie comme étant la cuvette lacustre (figure I, hors texte), à savoir respectivement du sud au nord : « Delta central »,

« Plateau », « Méma Dioura », « Gourma », « Zone lacustre » et « Bodara », représentant une superficie totale de 57 000 km^2. La différence de superficie avec l'impluvium (73 000 km^2) est expliquée par la non prise en compte des plateaux dogons d'environ 25 000 km^2 et dont la contribution à l'écoulement est négligeable. Enfin, on note que la cuvette nord de l'impluvium correspond à la somme des zones agro-écologiques « Zone lacustre » et « Bodara ».

12 Sur cet ensemble géographique, six unités taxonomiques inondables sont identifiées à partir des travaux du Pirt (Hiernaux, 1980 ; Hiernaux *et al.*, 1983 ; Hiernaux et Diarra, 1986). L'unité taxonomique inondable est une association de formations végétales, spécifique du delta, caractérisée par sa cote de début d'inondation et l'épaisseur maximale d'eau autorisée. En effet, à une association végétale donnée correspond une hauteur d'eau maximale possible de vie. Les six unités taxonomiques retenues sont, de bas en haut dans le paysage :

- X_6 : surfaces permanentes d'eau libre, correspondant donc au lit mineur du fleuve et des rivières ;
- TI_7 : zone à bourgou (ou bourgoutières), correspondant aux chenaux d'alimentation et aux fonds de lacs pouvant devenir sec (à limons fins) ;
- TI_1 : bourgoutières, orizeraies, vétiveraies basses et éragrostaies basses, correspondant aux formations végétales basses à moyennes (à argiles limoneuses) ;
- TI_2 : les rizières hors-casiers ou non (à limons argileux et fertilité haute) ;
- TI_3 : andropogonaies, éragrostaies, vétiveraies moyennes, correspondant aux formations végétales hautes (à argiles limoneuses et fertilité basse) ;
- TI_4 : vétiveraies hautes, correspondant aux bourrelets de berge (à limons).

Les hypothèses du modèle agro-écologique

13 Comme première hypothèse, il est admis d'utiliser la hauteur du maximum de crue lue sur l'échelle limnimétrique de la station hydrologique de Mopti comme étant représentative du niveau d'inondation de l'année considérée, et donc de son extension. En effet, Mopti est située à la confluence du Bani et du Niger, et on peut supposer que la variation interannuelle du niveau d'eau à cette station est directement liée à l'étendue maximale inondée.

14 La deuxième hypothèse sous-entend que le seuil d'entrée d'eau des casiers rizicoles de l'Office Riz Mopti est représentatif du début de l'inondation de la zone deltaïque, qui correspond à la cote 263 cm lue à Mopti. Il est donc admis que la cote du début d'inondation de la base des unités TL et TI_7 (les plus basses dans le paysage) est de 263 cm lue à Mopti.

15 En troisième hypothèse, on note que les vétiveraies hautes (TI_4) et les andropogonaies (TI_3), supportant la lame d'eau d'inondation la plus faible (de 0 à 60 cm), matérialisent les points hauts du paysage ; à l'inverse, les espèces végétales de TI_1 et TI_7 matérialisent les points bas. On obtient ainsi par unité taxonomique inondable des encadrements d'épaisseur de lame de submersion possible, comme indiqué dans le tableau 2. La reconstitution de l'inondation se fera donc par remplissage successif de ces compartiments taxonomiques en allant de bas en haut du paysage : on remplit donc successivement TI_7, TI_1, TI_2, TI_3 et TI_4.

16 Pour cela, on formule la quatrième hypothèse suivante : le processus d'inondation est linéaire entre deux seuils. Au-delà du seuil maximum, c'est-à-dire une fois que l'unité taxonomique la plus haute est inondée (soit les bourrelets de berge ou TI_4), on assume que les superficies supplémentaires inondées sont une extrapolation linéaire du remplissage de ce dernier compartiment. Bien sûr, ces superficies supplémentaires inondées ne sont pas des unités taxonomiques inondables (ou reconnues comme telles) mais sont d'autres unités « normalement[2] » non inondables, qui peuvent l'être parfois du fait de leurs relations topographiques et hydrologiques directes avec la zone deltaïque. Ce fut par exemple le cas lors de la crue de 1994.

Tableau 2. Équivalence entre les unités taxonomiques inondables (décrites par le Pirt, 1983), les formations végétales (décrites par Hiernaux, 1980), leurs hauteurs d'eau supportées et les cotes d'inondation lues à l'échelle de Mopti (H en cm).

Type de formations végétales	Unités taxono-miques	Associations végétales	Epaisseur de la lame de submersion	Cotes d'inondation (H)	
				Climax 1944-1968 (1)	Climax 1969-1978 (2)
Végétation haute	TI_3, TI_4	andropogon, vétiver	0 à 60 cm	600<H<660	550<H<610
Rizières	TI_2	riz	30 à 180 cm	480<H<630	430<H<580
Végétation basse	TI_1, TI_7	bourgou, riz, vétiver	150 à 400 cm 60 à 150 cm	263<H<600	263<H<550

Note 1[1]
Note 2[2]

17 Enfin, la cinquième hypothèse suppose que les formations végétales pérennes sont en situation d'équilibre avec le milieu et qu'elles représentent donc un témoin de l'importance de l'inondation. Cet équilibre entre formations végétales et crues moyennes traduit l'existence d'une situation de type « climax ». Pour Cissé et Gosseye (1990), cette situation climax correspond au maximum décadaire moyen moins l'écart-type de la crue lue à Mopti entre 1944 et 1968, soit 686 cm ± 26 cm. Cette valeur est donc supposée être représentative des crues moyennes les plus fréquentes ; la valeur 0 cm de submersion (pour la formation végétale la plus élevée en altitude) correspond donc alors à la cote de 660 cm à Mopti. Mais suite aux sécheresses successives des années 70 puis 80, et considérant que les formations végétales sont en perpétuel ajustement suite aux fluctuations interannuelles de l'inondation (ce qui n'est pas en contradiction avec l'hypothèse soulignée juste avant), nous avons préféré choisir l'état moyen de la crue le plus fréquemment représenté sur la période 1969-1978. On obtient alors la cote de 610 cm comme maximum décadaire moyen minimum de la crue à Mopti, au lieu de 660 cm pour Cissé et Gosseye (1990) (fig. 3).

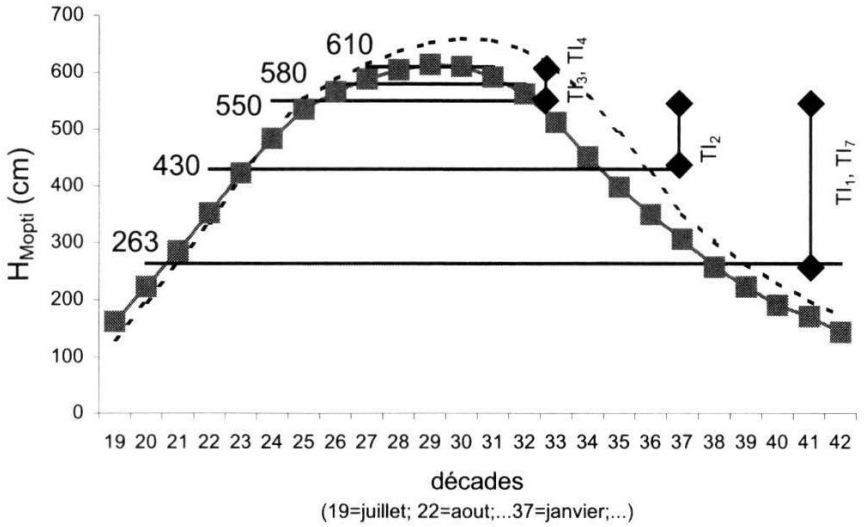


Figure 3. Courbe limnimétrique d'une crue moyenne à Mopti sur la période de référence 1969-1978, avec indication des seuils d'inondation des unités taxonomiques inondables du delta intérieur du Niger (TI, et TI_7, TI_2, TI_3 et TI_4).
En pointillé est indiquée la courbe limnimétrique moyenne sur la période 1944-1968 choisie par Cissé et Gosseye (1990).

Abaques de superficies inondées

18 La borne supérieure du modèle agro-écologique d'inondation est par définition la cote à laquelle l'eau recouvre le sommet de TI_4. On a admis que cette cote est fonction du climax d'équilibre de l'association végétation/inondation représentée par le maximum décadaire de crue le plus fréquent enregistré à Mopti entre 1969 et 1978, soit 610 cm. Ensuite le choix des seuils d'inondation des unités taxonomiques se fait en commençant le raisonnement par la borne supérieure, comme indiqué en figure 3. Par exemple, les unités TI_4 et TI_3 ne supportant que 60 cm d'eau, la borne inférieure d'inondation pour le climax 1969-1978 est donc de 550 cm, etc. (tabl. 2). Notons enfin que le seuil 263 cm est un seul seuil absolu : il dépend uniquement du seuil d'entrée d'eau dans la plaine. A partir de ces cotes remarquables d'inondation, caractéristiques des bornes représentatives des unités taxonomiques, on construit un abaque donnant la correspondance entre la hauteur limnimétrique du maximum de crue lue à Mopti et la superficie inondée maximale (fig. 4). Attention, cet abaque ne peut être utilisé que pour estimer la superficie maximale d'inondation de la crue d'un cycle hydrologique donné, et non pour suivre l'évolution de la superficie inondée en fonction de la cote lue à l'échelle de Mopti.

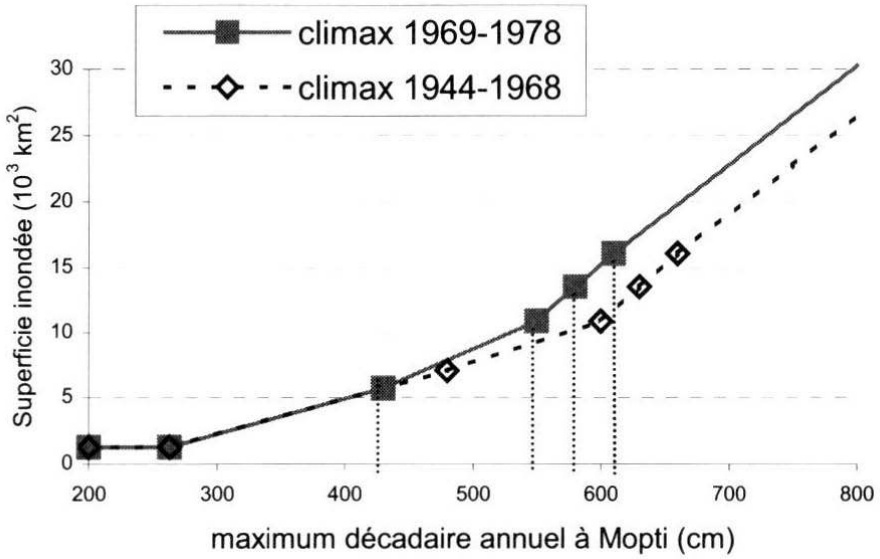


Figure 4. Abaque d'inondation du delta intérieur du Niger par un modèle agro-écologique donnant la superficie annuelle inondée en fonction du maximum décadaire annuel lue à Mopti. « Climax 1969-1978 » en trait plein (cette étude) ; « Climax 1944-1968 » en pointillé (Cissé et Gosseye, 1990).

19 Comme mentionné dans les hypothèses de construction du modèle, l'inondation fonctionne par seuil avec un remplissage linéaire entre deux seuils consécutifs pour chaque zone agro-écologique. L'abaque est donc constitué d'un ensemble de segments de droite ; le détail des calculs est consultable dans Dembélé (1999).

20 L'abaque construit à partir du climax 1969-1978 donne des estimations de superficie inondée supérieures à celles données par l'abaque de Cissé et Gosseye (1990), de 3 000 à 4 000 km^2 de plus pour des cotes supérieures à 580 cm (fig. 4). Pour la cote maximale observée à Mopti depuis le début du siècle, soit 731 cm le 4 novembre 1955, on obtient une superficie inondée de 25 100 km^2, ce qui est de l'ordre de grandeur de l'enveloppe des 30 000 km^2 estimée par photo-interprétation (Poncet, 1994), qui correspond à la limite extérieure des zones inondées et contient donc les points hauts du paysage non inondables et donc non comptés dans l'estimation donnée par notre modèle.

Critique du modèle agro-écologique

21 La période 1955-1996 comprend des décennies humides (les années 50 et 60) et des décennies sèches (les années 70 et 80). On peut donc considérer qu'à l'échelle du siècle, cette période d'observation est significative de l'état moyen de l'hydrologie de la région.

22 Le modèle agro-écologique selon le climax 1979-1986 donne une moyenne de superficie inondée de 17 000 km^2 an^{-1}, avec un maximum de 25 000 km^2 en 1955 et un minimum de 6 000 km^2 en 1984. Avec le climax 1944-1968, Cissé et Gosseye (1990) obtenaient une valeur moyenne de 14 000 km^2 an^{-1}, ce qui semble fortement sous-estimé d'après les observations de terrain de Poncet (1994), donnant une superficie d'inondation moyenne de 19 000 km^2 an^{-1}. De même, le Pirt (1983) lors de l'élaboration de son programme d'inventaire des ressources terrestres au Mali estimait la surface d'inondation à 22 340 km^2. Le climax 1969-1978 retenu pour cette étude semble donc être mieux adapté à la détermination des superficies inondées à partir des relevés taxonomiques de Hiernaux

(1980). Cette estimation d'une superficie moyenne inondable de 17 000 km² sur l'ensemble du delta correspond également à l'estimation effectuée récemment par Marie (2000 et ce volume).

23 La superficie inondée maximale a également été calculée par Olivry (1994) à partir de l'équation du bilan hydrologique, en faisant intervenir la différence entre les volumes d'eau entrant et sortant du delta, et une estimation graphique de l'évaporation réelle ; la méthode est décrite dans Olivry (1995). La superficie inondée maximale annuelle, entre Ké-Macina et Diré, est estimée à 26 000 km² en moyenne, ce qui semble cette fois très largement surestimée. En effet, le modèle hydrologique donne une superficie annuelle inondée toujours supérieure à celle des modèles agroécologiques (fig. 5), surtout lors des décennies humides où les superficies obtenues sont supérieures à 30 000 km², ce qui est supérieur à la superficie de l'enveloppe extérieure des inondations maximales observée par photographie aérienne. Ceci tend bien à prouver que ce modèle hydrologique surestime l'inondation. Par contre, on retrouve la même variabilité interannuelle, ce qui semble confirmer la validité des deux approches indépendantes utilisées, à savoir agro-écologique ou hydrologique. Enfin, cela confirme aussi le bien-fondé de la représentativité de la hauteur de crue lue à Mopti comme image de la superficie maximale inondée dans l'ensemble du delta intérieur du Niger.

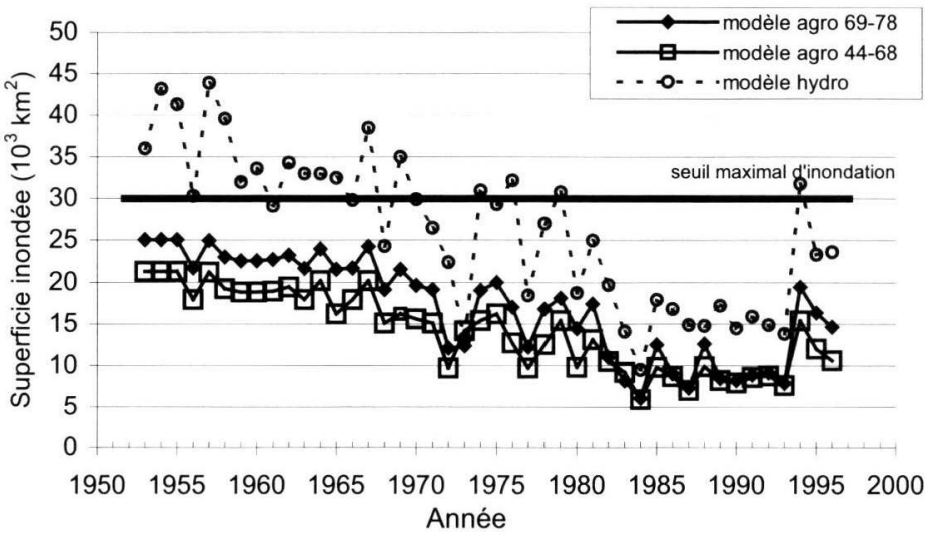


Figure 5. Comparaison des modèles d'inondation concernant le delta intérieur du Niger. En traits pleins, les modèles agro-écologiques selon le climax 1944-1968 (Cissé et Gosseye, 1990) et le climax 1969-1978 (cette étude) ; en pointillé, le modèle hydrologique (selon Olivry, 1995).

Dynamiques hydrologique et superficies d'inondation

Rôle de la cuvette sud et de la cuvette nord

24 A partir du découpage en zones agro-écologiques du delta, le modèle agro-écologique a pu être appliqué pour la détermination des superficies inondées annuelles maximales dans les cuvettes sud et nord. Les résultats sont donnés *in extenso* dans le tableau 3. La superficie d'inondation moyenne est de 14 000 km² pour la cuvette sud et de 3 000 km² pour la cuvette nord[3]. Ces évaluations correspondent aux estimations données par Poncet (1994) d'après ses relevés de terrain. En effet, cet auteur retient la superficie d'inondation de 14 500 km² pour la cuvette sud et 4 600 km² pour la cuvette nord[3]. Par ailleurs, à partir

de l'approche hydrologique, le volume de perte en eau annuel moyen pour la cuvette sud est estimé à 8,2 km, augmenté d'environ 1,5 km^3 provenant de la zone de plateau du pays dogon (Mahé *et al.*, sous-presse), ce qui donne une surface inondée de 14 000 km^2, pour une évaporation en 4 mois de 175 mm par mois.

25 Les extrêmes sont représentés par l'année 1954 pour le maximum d'inondation et l'année 1984 pour le minimum, avec respectivement 21 500 et 3 600 km^2 au sud, et 4 300 et 1 700 km^2 au nord. La valeur de 21 500 km^2 pour la cuvette sud en 1954 semble surestimée et fait probablement intervenir des débordements dans la zone agro-écologique du « plateau » située à l'est de Mopti (figure I, hors texte) ; en effet, Gallais (1967) donne une surface inondée d'environ 19 000 km^2 pour la cuvette sud dans les années 50 très humides. Pour la période sèche des années 70, il évalue la superficie d'inondation de la cuvette sud à environ 8 000 km^2 (Gallais, 1984). Tous ces chiffres tendent donc à confirmer la validité de l'utilisation de notre modèle agroécologique à l'échelle des cuvettes du delta.

26 De 1953 à 1972, le rapport entre la superficie inondée de la cuvette nord sur la cuvette sud est de 18 %, ce rapport augmente légèrement lors de la décennie 70 et double presque lors de la décennie 80 avec une valeur de 36 % (fig. 6).

27 On constate aussi sur cette figure 6 que certaines années de cette décennie sèche (1985, 1988 et 1994) montrent un rapport proche de celui des années 70, et que ce rapport est à nouveau inférieur à 20 % depuis 1994 (année correspondant à une reprise d'écoulements équivalents à ceux des années 60). Nous pouvons en conclure que le delta n'a pas changé de fonctionnement hydrologique suite à ces vingt dernières années de sécheresse ; il fonctionne différemment depuis 1973 du fait d'un niveau de seuil hydrologique non atteint, ce seuil se situant aux alentours de 540 cm de hauteur de crue maximum annuelle lue à Mopti.

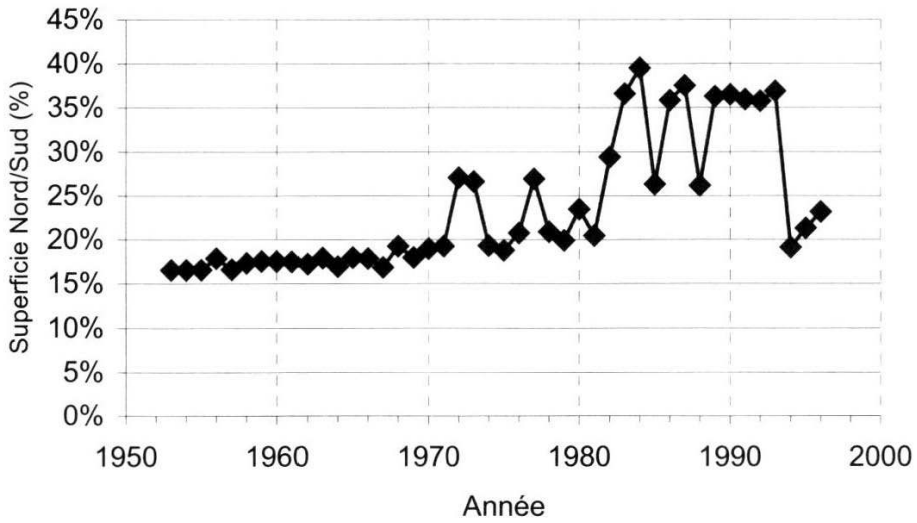


Figure 6. Évolution interannuelle du rapport (en pourcentage) des superficies inondées maximales annuelles de la cuvette nord sur la cuvette sud dans le delta intérieur du Niger (estimée à partir du modèle agro-écologique de cette étude).

Rôle des lacs périphériques et apports annuels du delta à leur superficie

28 Dans Mahé *et al.* (sous-presse), la superficie inondée moyenne annuelle de la cuvette nord est estimée par différence de la superficie totale inondée moins la superficie inondée de la cuvette sud. On obtient alors une superficie moyenne de 10 000 km^2, ce qui est largement supérieur à l'estimation de notre modèle agroécologique et aux estimations cartographiques des différents géographes spécialistes de la zone, qui évaluent cette différence entre 4 000 et 5 000 km^2. Qu'en est-il ?

29 Le tracé des pertes annuelles en eau en fonction des surfaces inondées maximales (fig. 7) montre qu'il n'y a pas d'évolution significative dans la cuvette sud en fonction de la superficie annuelle de l'inondation : les pertes sont toujours du même ordre de pourcentage. Par contre, dans la cuvette nord, on identifie bien deux populations de points distinctes traduisant un fonctionnement différent de cette cuvette en fonction de la superficie inondée vis-à-vis du pourcentage de pertes en eau. En effet, à partir d'une superficie inondée de l'ordre de 25 000 km^2, la proportion d'eau perdue par la cuvette nord augmente brusquement. Cette modification est attribuée au remplissage des lacs périphériques de la cuvette nord à partir d'un certain niveau d'eau, correspondant au seuil de 630 cm à l'échelle de Mopti (pour 25 000 km^2 inondés).

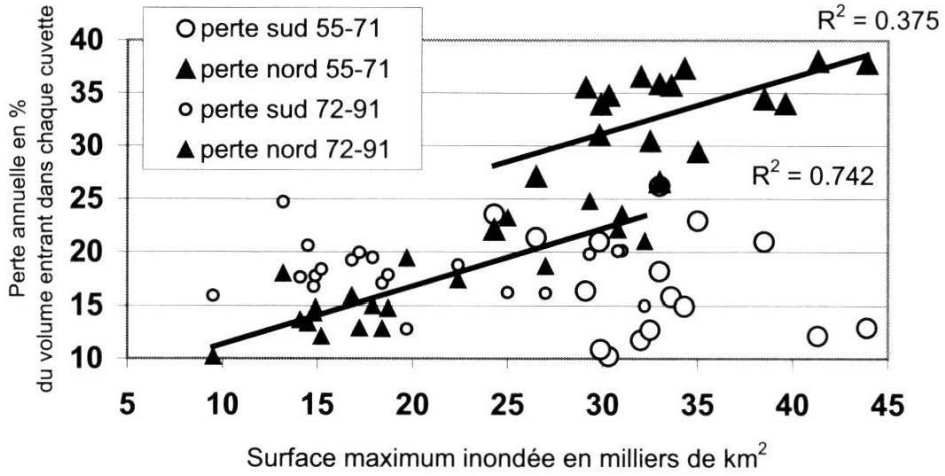


Figure 7. Pourcentages de pertes dans les cuvettes nord et sud jusqu'à et après 1971 (par rapport aux entrées dans chaque cuvette), en fonction des surfaces inondées maximales obtenues par le modèle hydrologique.

30 On a déjà vu que les deux chroniques interannuelles de superficies inondées reconstituées à partir du modèle agro-écologique et du modèle hydrologique ont une évolution similaire, même si les valeurs données par le modèle hydrologique semblent surestimées (fig. 5). Or ces deux modèles sont construits à partir de deux approches indépendantes ; on peut donc considérer qu'ils sont bien l'image de l'évolution réelle de la superficie inondée depuis les années 50. D'après ce qui précède (fig. 7), on attribue la surestimation donnée par le modèle hydrologique aux pertes en eau liées aux remplissages des lacs périphériques. De plus suite à nos observations de terrain de 1980 à nos jours, on sait que les années les plus sèches entre 1983 et 1993 n'ont pas alimenté les lacs périphériques ; à partir de ce constat, on cale la courbe d'évolution donnée par le modèle hydrologique sur

la courbe obtenue par le modèle agro-écologique. Puis on attribue la différence entre ces deux estimations à la contribution des eaux d'inondation du delta aux remplissages des lacs périphériques – et donc de leur superficie (fig. 8).

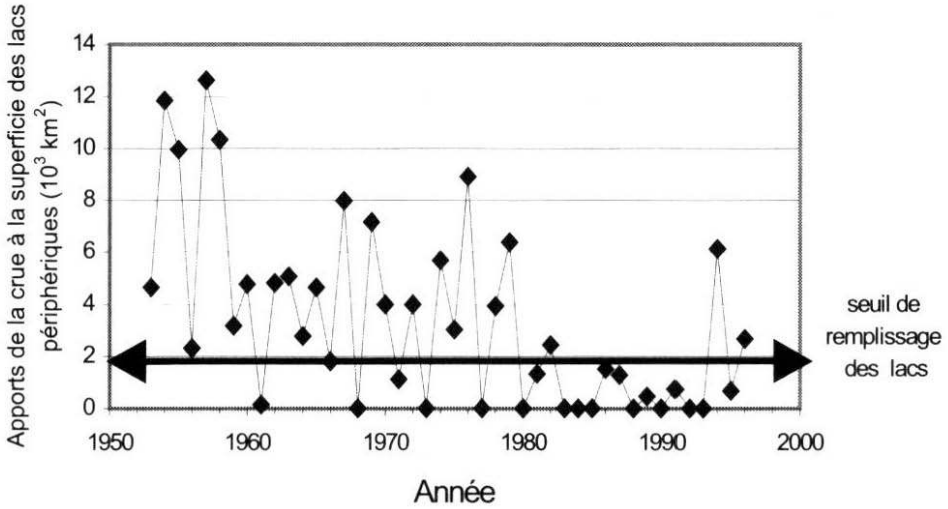


Figure 8. Évolution interannuelle des apports de la crue du delta aux remplissages des lacs périphériques de la cuvette nord (estimation à 2 000 km^2 près).

31 Or lors des importants débordements dans la zone nord, les terrains rencontrés par les eaux d'inondation, au-delà des fonds de mares et des berges, sont essentiellement constitués de sols très sableux, voire de dunes vives ; l'infiltration n'est alors plus négligeable. Par ailleurs, nos observations de terrain nous confirment que seules les années 1994 et 1996 ont participé aux remplissages des lacs périphériques depuis le début des années 80, ce qui (d'après la figure 9) donnerait un seuil de remplissage des lacs périphériques de 2 000 km^2 (correspondant aux volumes d'eau perdus par infiltration). La figure 8 donne donc une visualisation de l'évolution interannuelle du remplissage des lacs périphériques par les eaux d'inondation du delta.

32 La contribution de la crue du delta à la superficie des lacs périphériques de la cuvette nord serait en moyenne de 3 000 km^2, atteignant jusqu'à 10 000 km lors de la décennie humide des années 50. Au-delà de ces chiffres, la figure 8 permet de visualiser les années de non remplissage des lacs lors de la deuxième moitié du vingtième siècle. De 1950 à 1969 (correspondant à la période dite « humide »), seules deux années (1961 et 1968) n'ont pas participé au remplissage des lacs périphériques. Par contre depuis 1980 (soit sur 17 ans d'observations), seulement 3 années (1982, 1994, 1996) ont au contraire contribué au remplissage. Cette figure montre encore une fois, le caractère exceptionnellement sévère de la sécheresse des années 80, qui fut de loin une décennie catastrophique pour la productivité en ressources naturelles du delta intérieur du Niger.

Conclusion

33 Deux approches indépendantes ont permis de montrer la forte variabilité des superficies inondées dans le delta en fonction des apports en eau des bassins amont, les apports par la pluie jouant un rôle très faible. Le raisonnement sur les pertes en eau reconstituées à partir des mesures hydrologiques ont mis en évidence que les cuvettes sud et nord fonctionnaient différemment : la cuvette sud a un seuil de remplissage vite atteint, d'où

un fonctionnement identique hors et durant sécheresse, alors que la cuvette nord possède un réseau ancien d'épandage et de drainage de la crue, hérité de périodes plus humides passées, qui se remet en fonction dès lors que le niveau de la crue est suffisamment élevé. En effet, il apparaît que le fonctionnement hydrologique du delta intérieur du Niger n'a pas changé malgré ces vingt dernières années de sécheresse. Pendant les années de crue basse, la crue inonde très peu et l'eau reste dans le lit mineur, les lacs périphériques ne sont pas alimentés : on est en phase de seuil minimum (tel 1984). Pour les années de crue moyenne (comme 1992), la crue contribue à l'inondation des plaines par phénomène de débordements successifs de seuils après sortie du lit mineur. Pour les années humides (à partir de 1994), les seuils maximums sont à nouveau dépassés, les lacs périphériques se trouvent largement alimentés en eau par la crue et forment des zones évaporatoires supplémentaires (de grande étendue du fait de leur déclivité extrêmement faible). On note aussi que les pertes en eau par infiltration ne sont alors plus négligeables. L'exemplarité de la péjoration hydrologique subie par le delta intérieur du Niger de 1983 à 1993 s'est traduite par un arrêt du remplissage des lacs périphériques durant ces onze années, ce qui n'était jamais arrivé depuis le début des observations en 1953.

34 La superficie inondée chaque année est environ de 20 000 km^2, se répartissant entre 14 000 km^2 pour la cuvette sud, 3 000 km^2 pour la cuvette nord et 3 000 km^2 pour les lacs périphériques. La superficie inondée dans la cuvette nord ne s'est réduite que de moitié lors de l'année la plus sèche en 1984, elle fut réduite des 5/6 dans la cuvette sud cette année-là, soit seulement 3 600 km^2. Quand on sait que la productivité de ce milieu inondable est directement proportionnelle à la superficie inondée, ces chiffres montrent d'eux-mêmes toute la précarité des systèmes d'exploitation du delta intérieur du Niger. Une augmentation de 60 cm du niveau du pic de crue lu à Mopti entraîne une augmentation d'environ un tiers de la superficie inondée, soit en moyenne 5 000 km^2 de plus. Aussi les surfaces inondées annuellement ont varié dans un rapport de 1 à 5 depuis 1950.

35 Cette étude confirme donc que la gestion de la ressource en eau à l'échelle de la région naturelle du delta intérieur du Niger passe obligatoirement par une connaissance de la dynamique spatiotemporelle de l'inondation de cet écosystème sahélien en fonction d'une prévision à partir des apports amont. Une étude dans ce sens est en cours pour prévoir les surfaces inondées à l'aide de l'imagerie satellitaire NOAA (Mariko *et al.*, ce volume[4]).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Arfi R., Audollent M., Kuper M., Mahieux A., Marieu B., Ouattara A. K., Sidibé I., 1999 – *Delta intérieur du Niger : les lacs périphériques (26 octobre - 14 nov. 1999).* Rapport de mission Gihrex, RM15, IRD, Bamako, Mali, 59 p.

Auvray C, 1960 – *Monographie du Niger, B : la cuvette lacustre.* Paris, Orstom, 116 p.

Bamba F., Mahé G., Bricquet J.-P., Olivry J.-C, 1996 – « Changements climatiques et variabilité des ressources en eau des bassins du Haut Niger et de la cuvette lacustre ». *In : actes des XII^es^ Journées hydrologiques de l'Orstom,* paru, Orstom : 00-00.

Bricquet J.-P., Mahé G., Bamba F., Olivry J.-C, 1996 – « Changements climatiques récents et modifications du fleuve Niger à Koulikoro (Mali) ». *In : L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement,* IAHS Publ., 238 : 157-166.

Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.-P., Molinier M., 1986 – Cuveffe *lacustre et Niger moyen.* Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 8, tome 2, 506 p.

Cissé S., Gosseye P. A., 1990 – *Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali, rapport 1.* Centre des recherches agrobiologiques (Cabo), Wageningen, Pays-Bas, 170 p.

Dembélé L, 1999 – *Synthèse analytique des modèles d'inondation dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Mémoires Gihrex, M33, IRD, Bamako, 58 p.

Gallais J., 1967 – *Le delta intérieur du Niger, étude de géographie régionale.* Dakar, Mémoire Ifan, 79, 2 vol. : 621 p.

Gallais J., 1984 – *Hommes du Sahel, espaces-temps et pouvoirs, le delta intérieur du Niger, 1960-1980.* Paris, Flammarion, 289 p.

Guiguen N., 1985 – *Études hydrologiques complémentaires de la cuvette lacustre du Niger, rapport final.* Autorité du bassin du Niger, projet Hydroniger, Orstom, Bamako, 71 p.

Hiernaux P., 1980 – *La carte des ressources fourragères des parcours du delta intérieur du Niger.* Notice, Cipéa-Odem, Bamako, Mali, 98 p.

Hiernaux P., Cissé M. I., Diarra L., Coulibaly M., 1983 – *Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali ; volume 1 : les pâturages de la zone d'étude.* Cipéa-Odem, Bamako, Mali, 132 p.

Hiernaux P., Diarra L, 1986 – *Bilan de cinq années de recherches (sept. 1979 – sept. 1984) sur la production végétale des parcours des plaines d'inondation du fleuve Niger au Mali central.* Cipéa-Odem, Bamako, Mali, 66 p.

Kuper M., Orange D., Mullon C, Poncet Y., Morand P., 1999 – « Modélisation intégrée d'un écosystème inondé et gestion des eaux : le cas du delta Intérieur du Niger au Mali ». *In : Ressources en eau de l'Afrique occidentale et centrale,* actes du colloque Friend-AOC, Yaoundé, 30 nov. – 2 déc. 1999), Unesco-PHI : 00-00.

Laë R., 1994 – « Modifications des apports en eau et impact sur les captures de poisson ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 255-265.

Mahé G., Bamba F., Soumaguel A., Orange D., Olivry J.-C, sous-presse – Water losses in the Niger river inner delta : water balance and flooded surfaces. *Hydrological Processes J.*

Mahé G., Olivry J.-C, 1995 – Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse,* 6 (1) : 109-117.

Mahé G., Olivry J.-C. 1999 – Assessment of freshwater yields to the ocean along the intertropical Atlantic coast of Africa. C. *R. Acad. Se,* Paris, série II a, 328 : 621-626.

Mahé G., Olivry J.-C, Dessouassi R., Orange D., Bamba F., Servat E., 2000 – Relations eaux de surface-eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. C. *R. Acad. Sc.,* Paris, série II a, 330 : 689-692.

Mahé G., L'Hote Y., Olivry J.-C, Wotling G., 2001 – Trends and discontinuities in régional rainfall of west and central Africa, 1951-1989. *Hydrological Sciences Journal,* 46 (2) : 211-226.

Marie J., 2000 – *Delmasig : hommes, milieux, enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali).* Mém. HDR, univ. Paris-X, Nanterre, 291 p.

Marieu B., Bamba F., Bricquet J.-P., Cissé N., Gréard M., Henry des Tureaux T., Mahé G., Mahieux A., Olivry J.-C, Orange D., Picouet C, Sidibé M., Touré M., 1998 – *Actualisation des données hydrométriques du fleuve Niger au Mali pour Equanis.* Études et rapports Gihrex, ER32, IRD, Bamako, Mali, 81 p.

Marieu B., 2000 – *Étude hydrologique de la mare de Batamani.* Études et rapports Gihrex, ER46, IRD, Bamako, Mali, 28 p.

Olivry J.-C, 1994 – « Le contexte hydroclimatique de la cuvette lacustre ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 39-58.

Olivry J.-C, 1995 – « Fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta intérieur ». *In : Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone,* Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 267-280.

Orange D., 2000 – *Protocoles et règles pour l'évaluation de la dynamique de sédimentation dans les lacs, plaines et grands chenaux du delta intérieur du Niger.* Études et rapports Gihrex, ER61, IRD, Bamako, Mali, 45 p.

Paturel J. E., Servat E., Kouamé B., Lubes H., Ouedraogo M., Masson J. M., 1997 – Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part two : An integrated régional approach. *J. Hydrol.,* 191 : 16-36.

Pirt, 1983 – *Les ressources terrestres au Mali, atlas.* Mali, Usaid.

Poncet Y., 1994 – « Les milieux du delta central ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 58-66.

Quensière J.(éd.), 1994 – *La pêche dans le Delta Central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Veeneklaas F. R., Cissé S., Gosseye P. A., van Duivenbooden N., van Keulen H., 1990 – *Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali, rapport 4.* Centre des recherches agrobiologiques (Cabo), Wageningen, Pays-Bas, 182 p.

NOTES

1. Mahé G., Bamba F., Orange D., Fofana L, Kuper M., Marieu B., Soumaguel A., Cissé N., ce volume – « Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali) ». *In : partie 2.*
2. « Normalement » pris dans le sens de « répondant à une répartition de loi normale ».
3. D'après Poncet (1994), on peut distinguer 4 unités hydrographiques qui sont : (1) le haut delta s'étendant de Ké-Macina (entrée) à une ligne schématique Ténenkou-Kouakourou-Sofara avec une surface inondée moyenne de 6 516 km^2 ; (2) le delta moyen en aval du précédant entre la courbe Ténenkou-Kouakourou et approximativement une ligne droite joignant Konna sur le Niger à Toguéré Koumbé sur le Diaka avec une superficie inondée de 7 930 km^2 ; (3) le bas delta qui est la zone des dépôts alluviaux et des colmatages à proximité des lacs centraux Wallado, Débo et Korientzé, constituant de vastes bassins de décantation de 3 758 km^2 ; (4) enfin, le nord dunaire, aussi dénommé « erg de Niafunké » et « erg inondé » avec une superficie de 800 km^2.

Plus au Nord, le système des lacs Télé, Gourber et Faguibine et du marigot de Bourem couvre une superficie inondée de 1 200 km^2.

4. Mariko A., Mahé G., Orange D., Royer A., Nonguierma A., Amani A., Servat E., ce volume – « Suivi des zones d'inondation du delta intérieur du Niger : perspectives avec les données basse résolution NOAA/AVHRR ». *In : partie 2.*

NOTES DE FIN

1. Cissé et Gosseye
2. cette étude.

AUTEURS

DIDIER ORANGE

Hydrologue. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France,

GIL MAHÉ

Hydrologue. IRD, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina-Faso,

LAMINE DEMBÉLÉ

Géographe. ENSup, Bamako, Mali,

CHEIK HAMALLA DIAKITÉ

Géographe. IER, Laboratoire Sol / Eau / Plante, BP 438, Sotuba, Bamako, Mali,

MARCEL KUPER

Hydraulicien. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France,

JEAN-CLAUDE OLIVRY

Hydrologue. IRD, Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France,

Suivi des zones d'inondation du delta intérieur du Niger

Perspectives avec les données de basse résolution NOAA/AVHRR

Adama Mariko, Gil Mahé, Didier Orange, Antoine Royer, André Nonguierma, Abou Amani et Eric Servat

1 L'utilisation des données satellitales dans le suivi spatio-temporel de l'inondation prend une place de plus en plus importante dans beaucoup d'applications, notamment dans le domaine de la gestion des ressources naturelles. La variabilité de l'extension des zones inondées dans les plaines du delta intérieur du Niger joue un rôle essentiel dans la fluctuation des niveaux de productivité des ressources halieutiques, des pâturages et des cultures (Poncet et Orange, 1999). Un besoin réel d'optimisation de la gestion des ressources en eau pour ces différents secteurs d'activités de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, qui conditionnent prioritairement le développement économique de la région, s'impose. Dans ce but, la caractérisation de l'inondation dans le delta est nécessaire en vue de la réalisation de cartes thématiques pour une aide à la gestion. Cette étude, menée à partir des données satellitales NOAA/AVHRR acquises quotidiennement par le centre Agrhymet de Niamey et distribuées aux pays du Cilss[1] de façon décadaire, est effectuée en vue de pouvoir identifier en routine la dynamique spatio-temporelle de l'inondation du delta intérieur du Niger (au Mali).

2 Les zones inondées du delta sont caractérisées par la présence de surfaces variables dépendant de la dynamique des apports hydriques (pluies et écoulements) : des surfaces en « eau libre » (c'est-à-dire sans végétation à la surface de l'eau) ou des surfaces à « végétation inondée » (la végétation émerge au-dessus de l'eau). Au-delà de ces zones inondées, on trouve des sols couverts de végétations à densité très variable ou des sols nus. La végétation est toujours essentiellement de type herbacé. Ces surfaces présentent des comportements assez différents dans les domaines spectraux solaires et thermiques. L'eau libre ou en mélange avec la végétation, contrairement aux autres objets d'observation, se caractérise par des comptes numériques faibles dans le thermique. Quant à la végétation et à son pouvoir plus réfléchissant dans le proche infrarouge que dans le visible, elle se distingue des sols nus qui présentent un effet relativement contraire dans les mêmes domaines spectraux. C'est à partir de l'étude du comportement

spectral de chacun de ces objets dominants dans le delta que nous allons essayer de réaliser une discrimination des types de surfaces inondées à partir des données satellitales NOAA/AVHRR.

3 L'identification de ces objets par un simple examen visuel des compositions cartographiques colorées passe par la construction d'indices à partir de la décomposition des signatures spectrales des différents objets géographiques observés (Jackson, 1983 ; Townshend et Justice, 1986 ; Tucker et Sellers 1986 ; Justice et Hiernaux, 1986). On peut donner comme exemple l'indice NDVI[2] dont l'utilisation est maintenant très répandue pour visualiser le couvert végétal : ce sont d'ailleurs les cartes NDVI qui sont envoyées par le centre Agrhymet de Niamey dans les différents pays du Cilss. Les études sur l'évolution des milieux sahéliens à partir des mesures satellitales (Courel, 1984 ; De Wispelafre et Peyre de Fabrègues, 1991 ; Houssa, 1996 ; Mariko, 1999) ont permis de faire un pas dans la connaissance de leurs comportements spectraux. Si les indices connus permettent de mettre en évidence la présence d'objets simples comme l'eau, la végétation, les sols nus, leur utilisation reste encore très limitée pour l'identification d'objets complexes comme la végétation inondée, qui occupe plus de 70 % de notre zone d'étude.

4 Après une étude comparative des indices existants, de nouveaux indices sont développés dans cette étude pour assurer une meilleure cartographie du suivi spatio-temporel des surfaces en eau libre, végétation inondée, sols exondés nus ou couverts du delta intérieur du Niger au Mali.

Le delta intérieur du Niger

5 Situé en zone sahélienne semi-aride, le delta intérieur du Niger est une vaste zone inondable d'environ 40 000 km^2 qui s'étire selon un axe SO-NE sur plus de 350 km, entre les parallèles 17° et 13° N, et les méridiens 2°30 et 6°30 O (figure I, hors texte). Il est parcouru par un réseau très dense et hiérarchisé de défluents alimentés par le fleuve Niger et par son confluent le Bani qui le rejoint au droit de la ville de Mopti. La pluviométrie annuelle varie du sud au nord entre respectivement 600 et 300 mm par an (L'Hote et Mahé, 1996). Son inondation, chaque année entre juillet et décembre, est conditionnée essentiellement par les régimes hydrologiques du Niger et du Bani, avec plus de 90 % des apports en eau provenant des écoulements provenant de Guinée et du nord de la Côte d'Ivoire, et non par la pluviométrie locale (Mahé *et al.*, ce volume[3]). Le temps de propagation de l'onde de crue est très variable ; il est d'autant plus long que le maximum de crue est important (Olivry, 1995). Selon que les crues sont minimales ou maximales, le transfert de l'onde de crue d'une extrémité à l'autre du delta peut avoir une durée variant de 18 à 78 jours entre Ké-Macina et Diré. Les pertes en eau annuelles, dues essentiellement à l'évaporation, atteignent 47 % des entrées en période humide et seulement 32 % en période sèche, du fait de la réduction de la superficie inondée (Mahé *et al.*, sous-presse ; Orange *et al.*, ce volume[4]).

Données et prétraitements

6 La disponibilité des images satellitales provenant du capteur AVHRR (*Advanced very high resolution radiometer*) du satellite NOAA14 (*National oceanic and atmospheric administration*), en format brut à la station de réception d'Agrhymet de Niamey, offre l'opportunité d'un

suivi de la dynamique d'inondation dans le delta intérieur du Niger au Mali. Quatre images prises en 1999 à différentes dates couvrant les grandes phases hydrologiques de l'inondation du delta ont été utilisées : le 22 février 1999 pour le début des basses-eaux, le 9 juin 1999 pour les très basses-eaux (période correspondant à la fin du cycle hydrologique précédent et au début des pluies), le 18 octobre 1999 pour le maximum d'inondation en zone amont du delta et le 1er décembre 1999 pour le maximum d'inondation en zone aval du delta. De plus, les images ont été sélectionnées en fonction de la position relative du delta par rapport au nadir[5] et de l'absence de nuages. La période d'étude couvre donc en partie les deux cycles hydrologiques 1998/99 et 1999/00, dans cette région le cycle hydrologique étant classiquement défini entre juin et mai de l'année suivante. Ces deux années correspondent à des crues moyennes, avec respectivement un débit annuel de 3 880 $m^3 s^{-1}$ et 4 080 $m^3 s^{-1}$; en 1999, le pic de crue a été atteint le 30 août 1999 avec 5 340 $m^3 s^{-1}$.

7 La couverture nuageuse est souvent présente sur les images de la période correspondant à la montée des eaux du fleuve Niger (de juillet à septembre 1999) ; cela reste toujours un fort handicap au suivi de cette phase de l'inondation.

8 Chaque image brute, nommée *"local area coverage"*, doit subir un pré-traitement qui consiste en une correction radiométrique sur les cinq canaux spectraux AVHRR (tableau 1) pour les calibrer en utilisant les coefficients de dérive des capteurs au cours du temps et une rectification géométrique de ces cinq canaux en plate carrée à partir d'une image de référence NOAA déjà géoréférencée. A la fin de ce processus de prétraitement, on obtient alors neuf canaux correspondant aux 5 canaux précédents additionnés de 4 nouveaux pseudo-canaux créés :

- les canaux 1 et 2 en compte numérique ;
- les canaux thermiques 3, 4 et 5 en compte numérique pouvant être transformés en température ;
- le pseudo-canal 6 correspondant à l'indice de végétation (NDVI), calculé à partir des comptes numériques des canaux 1 et 2 ;
- le pseudo-canal 7 étant l'angle zénithal satellitaire ;
- le pseudo-canal 8 étant l'angle zénithal solaire ;
- le pseudo-canal 9 étant la valeur absolue de l'angle azimutal.

9 Dans cette première étude, nous nous sommes intéressés à la partie sud du delta intérieur du Niger, appelé delta amont et correspondant géographiquement à la partie du delta située en amont du lac Débo. La fenêtre d'extraction, indiquée en figure III (hors texte), est constituée de 146 x 217 pixels d'environ 1 km de résolution, soit une superficie de 31 682 km^2.

Tableau 1. Caractéristiques des canaux spectraux AVHRR du satellite $NOAA_{14}$.

Domaine spectral	Canal spectral AVHRR	Dénomination	Sources de radiation	Propriétés de surface
visible (VIS)	Canal 1 : 0,58 – 0,68 µm	B1	Solaire	réflectance
proche infrarouge (PIR)	Canal 2 : 0,725 – 1,1 µm	B2	Solaire	réflectance
moyen infrarouge (MIR)	Canal 3 : 3,55 – 3,93 µm	B3	Solaire, thermique	réflectance, température
thermique infrarouge (TIR)	Canal 4 : 10,3 – 11,3 µm Canal 5 : 11,5 – 12,5 µm	B4 B5	Thermique	température

Discrimination des zones inondées

Etude comparative des indices

10 De nombreuses méthodes de délimitation des surfaces en eau libre sur les images satellitales existent dans les différents domaines réflectifs, thermiques et micro-ondes actives. Pour mémoire, on peut citer : l'analyse visuelle couplée à l'analyse spectrale en milieu sahélien (Thiam et Ovtracht, 1998), la méthode de seuillage appliquée à l'histogramme (McFeeters, 1996 ; Verdelta, 1996) et le rapport des canaux (Rigal, 1989 ; Wald, 1990 ; McFeeters, 1996). Par ailleurs, les méthodes d'ajustement spectral et de modélisation des pixels mixtes (Bajjouk *et al.*, 1998 ; Drake *et al.*, 1999) offrent de nouvelles possibilités de délimitation d'entités géographiques en milieux inondés. Enfin, d'autres règles de discrimination, basées sur de simples expressions logiques (Richard et Jia, 1999), ont également été utilisées pour la cartographie. Toutes ces méthodes s'appuient sur l'analyse des signatures spectrales des objets, signatures liées à la nature des objets observés et aux caractéristiques des capteurs satellitales utilisés. Ces dernières dépendent de plusieurs facteurs tels que la résolution spatiale et le domaine spectral.

11 Dans le cas de notre étude sur le delta intérieur du Niger, la difficulté va résulter en la distinction entre les surfaces d'eau libre, les surfaces de végétation sur sols secs et les surfaces de végétation sur eaux. En vue de parvenir à une discrimination satisfaisante, quelques indices rencontrés dans la littérature sont testés et confrontés à des indices que nous avons construits sur la base des caractéristiques de la signature spectrale des objets que nous désirons distinguer. Les indices sélectionnés sont présentés en tableau 2.

12 Sur les images de juin et décembre, les indices retenus sont appliqués en vue de tester leurs possibilités et limites dans l'identification des différents paysages du delta pour deux périodes extrêmes du cycle hydrologique annuel du fleuve Niger. Afin de suivre la dynamique spatio-temporelle de l'inondation du delta et la mise en place de son couvert végétal, nous recherchons à discriminer : les zones d'eau libre, les zones d'eau recouvertes par la végétation, les zones de végétation sur sols secs et les zones de sols sans végétation (classiquement appelés sols nus). Sur les images en niveaux de gris, dans la zone habituellement exondée, la distinction entre sols couverts et sols nus se fait difficilement ; nous les avons donc groupés ici sous le terme de sols exondés. Le tableau 3 donne la caractérisation des spectres en niveaux de gris et en valeur positive ou négative

du compte numérique par rapport à la moyenne le long d'un profil ouest-est, noté A-B en figure II (hors texte), ce qui permet d'avoir une description qualitative du comportement spectral des objets géographiques observés en fonction du temps et selon les indices choisis. Les images en niveaux de gris et les signatures spectrales correspondantes sur le profil A-B sont données en figure II (hors texte).

Tableau 2. Formules des indices multispectraux : NDVI : Normalized différence vegetation index ; GREEN : canal vert ; RED : canal rouge ; NDWI : Normalized difference water index ; NIR : Near infrared ; J : indice de présence de l'eau ; R_c : rapport de canaux ; IB_T : indice de brillance dans le thermique.

Indice	Type	Référence	Formulation retenue
NDVI = (NIR – RED) / (NIR + RED)	AVHRR AVIRIS TM	Rigal, 1989 Bo-Cai, 1996 Dale *et al*, 1997	NDVI = (B2 – B1) / (B2 + B1)
NDWI = (GREEN – NIR) / (GREEN + NIR)	LANDSAT MSS	McFeeters, 1996	NDWI = (B2 – B1) / (B2 + B1)
J = (IR – PIR) / (IR + PIR)	AVHRR	Rigal, 1989	J = (B5 – B2) / (B5 + B2)
R_c	AVHRR	cette étude	R_c = B4 / B2
IB_T	AVHRR	cette étude	$IB_T = \sqrt{[(B3^2 + B4^2 + B5^2) / 3]}$

13 L'indice NDVI obtenu à partir de la différence des canaux du visible B1 et B2 normalisée par leur somme (tableau 2) est un bon indicateur de la végétation. Cela tient au comportement spectral très contrasté de la végétation pour cette combinaison spectrale : la présence du couvert végétal se traduit par de fortes valeurs du NDVI largement supérieure à la moyenne (de l'ordre de 120 en compte numérique sur le profil A-B) (figure II, hors texte). Le couvert végétal apparaît dans la zone inondée de façon remarquable en couleur blanche sur les niveaux de gris. Ce blanc est d'autant plus marqué que la végétation est dense. La zone exondée apparaît en décembre en gris blanc grâce à son taux de couverture végétale faible au niveau du pixel (de 1 km de côté). Les poches blanches au mois de juin seraient liées à la végétation précoce couplée à la présence des nuages sur l'image.

14 Les indices NDWI et J sont construits selon le même principe, à partir d'une différence normalisée entre respectivement les canaux B1 et B2, B5 et B2 (tableau 2). Ils présentent tous deux des comptes numériques plus élevés pour l'eau libre : le premier peut atteindre 0,3 et le second dépasse généralement 0,85 (figure II, hors texte). Notons qu'une faible température de surface correspond à un compte numérique faible dans le canal B5 ; par contre, l'absorption plus forte dans le proche infrarouge que dans le visible induit un compte numérique plus bas dans le canal B2 que dans le canal B1, d'où une valeur de l'indice J supérieure à celle du NDWI et des contrastes plus forts entre eaux libres et sols couverts de végétation (tableau 3). L'indice R_c présente l'avantage d'avoir de fortes amplitudes pouvant atteindre la valeur 20 au passage de l'eau libre (figure II, hors texte). Quant à l'indice de brillance dans le thermique, IB_T, les sols couverts ou nus se caractérisent par un compte numérique supérieur à 200 et les surfaces inondées (eau libre et végétation inondée) ont un compte numérique de l'ordre de 190 ; cette caractéristique fait de cet indice un bon indicateur des surfaces mouillées.

15 Sur les images en niveaux de gris (figure II, hors texte), le NDWI apparaît comme un bon indicateur des eaux libres (couleur blanche) le long des axes majeurs et des lacs Débo et Wallado, tant en période de basses-eaux que de hautes-eaux. Le R_c et le J présentent en période de hautes-eaux des résultats semblables avec un meilleur contraste de l'interface « eau libre / sol exondé » sur le plan spectral. En période de basses-eaux, le contraste entre la plaine d'inondation et les anciens sols exondés reste bien marqué sans qu'il soit possible d'établir de façon précise au sein de la plaine d'inondation l'interface « sol couvert / sol nu », l'ensemble étant blanchâtre. Enfin l'indice IB_T se révèle être un très bon indicateur de la présence d'eau apparaissant en noir. Cependant, la confusion « eau libre / végétation inondée », voire sols humides, au mois de décembre paraît totale ; au niveau spectral, cet ensemble apparaît sous forme d'anomalie négative avec un fond plat ponctué de quelques remontées qui correspondent à des zones exondées d'extension limitée.

16 Par conséquent, les indices testés mettent en évidence de façon plus ou moins nette les différents objets pris isolément. Mais aucun ne permet de se prononcer sur la présence de l'objet complexe : végétation inondée. Son identification nécessitant l'apport de plusieurs indices à la fois est examinée dans le paragraphe suivant à partir d'une analyse de compositions colorées.

Tableau 3. Étude comparative des indices testés en niveaux de gris (NG) et en compte numérique (CN) de la réponse spectrale entre une image d'inondation minimale (juin 1999, fin de saison sèche) et une image d'inondation maximale (décembre 1999, fin de la période de hautes eaux). NG : niveaux de gris (b : blanc ; n : noir ; g : gris ; gn : gris à noir ; nm : niveau moyen) ; CN : niveaux du compte numérique par rapport à la moyenne (+ : supérieur ; – : inférieur).

	9 juin 1999								1er décembre 1999					
	Plaine d'inondation						Sols exondés		Plaine d'inondation				Sols exondés	
Objets	Eau libre		Sols couverts		Sols nus				Eau libre		Végétation inondée			
Indices	NG	CN	NG	CN	NG	CN	NG	CN	NG	CN	NG	CN	NG	CN
NDVI	n	-	b	+	G	-	g et b	- et+	n	-	b	+	gb	nm
NDWI	b	+	n	-	B	+	g	+	b	+	n	-	gb	nm
J	b	+	b	+	B	+	Gn-gb	-	b	+	gn	-	g	-
R_c	b	+	b	+	B	+	Gn-gb	-	b	+	g n	-	g n	-
IB_T	n	-	gb	+	Gb	+	g	+	n	-	n	-	gb	+

Analyse de la composition colorée

17 Les indicateurs qui nous ont semblé les plus pertinents, eu égard aux objectifs fixés, sont IB_T, NDVI et R_c. Ils ont servi à l'élaboration de l'image en composition colorée : cette image couvre toute la zone du delta intérieur du Niger (de Ségou à Tombouctou) (figure III, hors texte), à la différence des images présentées précédemment en niveaux de gris qui ne couvraient que le delta amont correspondant à la plaine d'inondation proprement dite du delta (comme indiqué par la fenêtre d'extraction en figure III, hors texte).

18 L'indice de brillance (IB_T), très bon indicateur de la présence de l'eau (par ses faibles valeurs) et des sols secs (par ses fortes valeurs), est affecté au rouge. L'indice de végétation (NDVI), naturellement affecté au vert, est l'indice le mieux indiqué pour le

suivi du couvert végétal aussi bien sur les surfaces inondées qu'exondées. L'indice R_c, comme montré ci-avant, présente une meilleure discrimination de l'interface « eau libre / sol » que le NDWI, avec un rapport qui varie généralement du simple au double d'où le choix de cet indice R_c ; il est affecté au bleu et représente l'eau libre.

19 A partir de cette composition colorée, les objets géographiques alors identifiables dans le delta sont :

- *eau libre* : elle apparaît en bleu foncé au nord et permet de distinguer les bras du fleuve divaguant entre les cordons dunaires, les plaines ou prairies d'inondation et les lacs périphériques très importants pour la régulation hydrologique du delta (Orange *et al.*, ce volume) ; sur la partie amont du delta, l'eau libre est visible sur les parties limitrophes des zones de végétation, et correspond probablement aux zones nouvellement conquises par les eaux ; l'absence de la coloration bleue au niveau du Bani serait liée à la faiblesse de la largeur du cours d'eau par rapport à la résolution du capteur NOAA/AVHRR ;
- *végétation inondée* : elle se reconnaît facilement par sa couleur vert olive tendant vers le cyan dans la partie nord ; cette variation de couleur dans la partie septentrionale du delta amont est probablement liée à l'importance des poches d'eau libre au milieu de la végétation inondée et/ou à l'importance des hauteurs d'eau pouvant atteindre quatre mètres, voire plus, dans cette zone contre quelques dizaines de centimètres vers le sud ;
- *sols couverts* : ils prennent une coloration jaune vers le nord ; il s'agit essentiellement de formations herbeuses ponctuées d'arbustes épineux, peu développées, sur des sols dunaires ; vers le sud, la coloration de plus en plus verte témoigne de l'abondance de la végétation à cette époque (décembre 1999) ;
- *sols nus* : rougeâtres à oranges, ils n'apparaissent dans le delta que sur une petite bande exondée d'extension Nord-Sud le long du mayo Dembé, un défluent du Niger dans l'axe Mopti-Youwarou ; ce sont des formations alluvionnaires le long des berges, des bourrelets de berges et des levées ; dans la partie septentrionale de la zone, les sols sont d'anciennes dunes de sables fixes ou récentes de direction nord-est.

Évolution du front d'inondation

20 Pour décrire l'évolution du front d'inondation, une séquence de quatre images colorées a été réalisée sur la même fenêtre d'extraction que les précédentes images en niveaux de gris. Cette séquence représente les 4 grandes phases du cycle hydrologique (figure IV, hors texte). L'image de février, prise presque à la fin du cycle hydrologique 1998/99 (allant de juin à mai), correspond à une phase de vidange intensive de la plaine d'inondation. Puis les trois autres images – juin, octobre et décembre – visualisent respectivement les phases d'assèchement, de montée des eaux et d'inondation maximale de la crue.

21 Le fleuve Niger est la principale source d'approvisionnement en eau du delta, la pluie n'apportant que 5 à 10 % du volume d'eau (Mahé *et al.*, ce volume). Aussi la mise en place de la végétation et des zones d'eaux libres matérialisent le temps de propagation de l'onde de crue dans le delta. Selon l'hydraulicité de l'année, la crue met 2 à 6 jours pour parcourir le tronçon Koulikoro-Ké-Macina à l'entrée du delta. A l'intérieur du delta, le temps de transfert de la crue entre les stations est assez variable (Picouet, 1999). Entre Ké– Macina et Mopti[6], ce temps varie de 3 à 19 jours, le tronçon Mopti-Aka (à la sortie du lac Débo) nécessite 15 à 35 jours. Dans la partie amont, l'onde de crue met 2 à 14 jours entre Aka et Diré. Ces durées sont dépassées en année plus humide. De l'entrée du delta

(Ké-Macina) à sa sortie (Diré), le temps de transfert varie, selon les estimations, de 18 à 78 jours pour Olivry (1995) ou de 30 à 73 jours pour Picouet (1999).

22 A partir d'une interprétation visuelle des images en composition colorée et de l'analyse des comportements spectraux le long du profil A-B, nous pouvons suivre l'évolution spatio-temporelle des différents objets précédemment décrits (figure IV, hors texte). Sur toutes les images, on note une pérennité des eaux (en bleu foncé) dans les lacs Débo, Wallado et Korientzé. Ailleurs, les eaux se font rares au mois de février à l'exclusion des lits du fleuve, de ses principaux défluents et très probablement des dépressions les plus profondes. Au mois de juin, toutes ces dépressions semblent se vider totalement, le comportement de l'indice de brillance, devenu plat, semble en constituer un témoignage évident. Au mois d'octobre, l'eau s'installe de façon significative pour atteindre son niveau maximal en décembre visualisé par un débordement important au nord du delta amont sur le bord haut de l'image. L'allure du spectre IB_T en « fond de bateau » dominée par des valeurs faibles dénote l'extension de l'eau sous le couvert végétal.

23 Quant à la végétation essentiellement herbacée (en niveaux de vert à rouge), elle commence à se dégrader au mois de février suite au stress, à la sénescence et surtout au retour du cheptel (1 200 000 bovins, 3 730 000 ovins et caprins en 1992 ; MDRE, 2000). En juin, le couvert végétal disparaît ainsi en grande partie en laissant un sol alluvionnaire nu (marqué par un profil NDVI plat) à la coloration rougeâtre à jaune rosâtre sur les sols exondés du nord (indiquant une présence légère de végétation) et à la coloration violette dans la plaine d'inondation indiquant cette fois une présence probable d'humidité dans le sol. Au sud de la même image, les sols exondés paraissent verdoyants suite à l'effet combiné de la pluie, relativement précoce au sud, et de la présence de nuages perturbant le signal acquis. En octobre et décembre, la végétation reste abondante tant en milieux inondés qu'exondés.

24 Cette lecture fonctionnelle de l'évolution des couleurs des images d'une période à l'autre montre que le comportement au niveau du pixel de la signature spectrale des objets eau libre (bleu), végétation (vert), sol exondé nu (rougeâtre à jaune rosâtre) et sol devenu nu de la plaine d'inondation (violet), établie en fonction des pseudo-canaux IB_T, NDVI et R_c, concorde avec l'évolution du front d'inondation observé sur le terrain.

Conclusion

25 Les indices développés à partir des données multispectrales basse résolution NOAA/AVHRR permettent donc de discriminer les différents objets géographiques composant le paysage de zones inondables et inondées, du type eau libre / végétation inondée / sol exondé couvert ou nu. L'association proposée ici présente l'avantage de pouvoir déterminer la présence de l'eau sous un couvert herbacé dense en zone humide sahélienne, ce qui constitue un intérêt majeur. La composition colorée doit être élaborée à partir des pseudo-canaux suivants : l'indice de brillance dans le domaine thermique (IB_T) pour marquer le niveau d'humidité des sols, le NDVI bien connu pour sa mise en évidence du couvert végétal et le rapport R_c du canal 4 (dans le thermique) sur le canal 2 (dans le visible) pour visualiser l'eau libre. La combinaison de ces trois indices apparaît être un outil performant de cartographie pour le suivi de la dynamique spatio-temporelle de l'inondation dans le delta intérieur du Niger à l'échelle kilométrique, à partir des données NOAA. Ces résultats sont actuellement utilisés pour l'inventaire et la

caractérisation de la dynamique saisonnière des ressources en eau de surface du delta intérieur du Niger au Mali.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bajjouk T., Populus J., Guillaumont B., 1998 – Quantification of subpixel cover fractions using principal component analysis and a linear programming method : application to the coastal zone of Roscoff (France). *Remote Sensing of Env.,* 64 (2) : 153-165.

Bo-Cai G., 1996 – NDWI, a normalized différence water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment,* 53 (3) : 257-266.

Courel M. F., 1984 – *Étude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites.* Thèse doct., univ. Paris-I, 407 p.

Dale A. Q., Nina S.-N. L, Hong-lie Q., Wei Z., 1997 – Image characterisation and modeling System (ICAMS) : a géographie information System for the characterisation and modeling of multiscale remote sensing data. *Scale in Remote Sensing and GIS* : 295-308.

De Wispelafre G., Peyre de Fabrègues B., 1991 – *Évaluation et suivi des ressources par télédétection spatiale dans la région du sud-Tamesna. Etude thématique.* Rapport final (volume 1), IEMVT, ministère de la Coopération et du Développement, Paris, 93 p.

Drake N. A., Mackin S., Settle J. J., 1999– Mapping vegetation, soils and geology in semiarid shrublands using spectral matching and mixture modeling of SWIR AVIRIS imagery. *Remote Sensing of Environment,* 68 (1) : 12-25.

Houssa R., 1996 – *Étude radiométrique des sols d'une zone sahélienne (programme Hapex-Sahel). Analyse multi-échelle : du laboratoire au satellite.* Thèse doct., univ. Strasbourg, 253 p.

Jackson R. D., 1983 – Spectral index in N-space. *Remote Sensing of Environment,* 5 (5) : 999-1021.

Justice C. O., Hiernaux P., 1986 – Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRRR data : Niger 1983. *Int. J. of Remote Sensing,* 7 (11) : 1475-1497.

L'Hote Y., Mahé G., 1996 – *Précipitations moyennes annuelles en Afrique de l'Ouest et centrale (période 1951-1989).* Paris, Orstom, carte Orstom, échelle 1/6 000 000e.

McFeeters S. K, 1996 – The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. of Remote Sensing,* 17 : 1425-1432.

Mahé G., Bamba F., Soumaguel A., Orange D., Olivry J.-C, sous-presse – Water losses in the Niger river inner delta : water balance and flooded surfaces. *Hydrological Processes J.*

Mariko A., 1999 – *Suivi des ressources pastorales du Niger avec des données spatiales basse résolution Vegetation/SPOT4 : influence du milieu et de la pluviométrie (saison des pluies 1998).* Mémoire DESS Télédétection-Imagerie numérique, univ. Toulouse, 33 p.

MDRE, 2000 – *Archives agricoles de la Direction régionale de l'appui au monde rural de Mopti.* Bamako, ministère du Développement rural et de l'Eau.

Olivry J.-C, 1995 – « Fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta intérieur ». *In* Olivry J.-C, Boulègue J. (éd.) : *Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone,* Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 267-280.

Picouet C, 1999 – *Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé : le bassin supérieur du Niger et de son delta intérieur.* Thèse doct. Sciences, univ. Montpellier-II, 454 p.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées : l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

Richard J. A., Jia X., 1999 – *Remote sensing digital image analysis.* New York, Springer, 363 p.

Rigal D., 1989 – Crue et décrue au lac Tchad : essai de suivi à partir des images NOAA, novembre 1988-avril 1989. *Veille Climatique Satellitaire,* 28 : 71-76.

Thiam S., Ovtracht N., 1998 – Suivi des écosystèmes du delta intérieur du Niger à partir des données SPOT (région de Mopti, Mali). *Photo- Interpretation,* 1998 (2-3).

Townshend J. R, Justice C. O., 1986 – Analysis of the dynamics of African végétation using the normalized difference vegetation index. *Int. J. of Remote Sensing,* 7(11) : 1435-1445.

Tucker C. J., Sellers P. C, 1986 – Satellite remote sensing of primary production. *Int. J. of Remote Sensing,* 7(11) : 1395-1416.

Verdelta J. P., 1996 – Remote sensing of ephemeral water bodies in western Niger. *Int. J. of Remote Sensing,* 17 (4) : 733-748.

Wald L., 1990 – Monitoring the decrease of Lake Chad from space. *Geocarto International,* 5 (3) : 31-36.

NOTES

1. « Comité inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel » : Burkina-Faso, Cap Vert Gambie, Guinée Bissau, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad.
2. "Normalised différence végétation index" (Jackson, 1983).
3. Mahé G., Bamba F., Orange D., Fofana L, Kuper M., Marieu B., Soumaguel A., Cissé N., ce volume – « Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali) ». *In : partie 2.*
4. Orange D., Mahé G., Dembélé L, Diakité C. H., Kuper M., Olivry J.-C, ce volume – « Hydrologie, agro-écologie et superficies d'inondation dans le delta intérieur du Niger ». *In : partie 2.*
5. Le nadir est la zone observée suivant la direction perpendiculaire au capteur.
6. Comprendre Mopti au niveau de la station hydrologique de Nantaka, 2 km à l'aval de Mopti.

AUTEURS

ADAMA MARIKO

Physicien. École Nationale d'Ingénieur, Bamako, Mali,

GIL MAHÉ

Hydrologue. IRD, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina-Faso,

DIDIER ORANGE

Hydrologue. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France,

ANTOINE ROYER

Télédétecteur. Centre Régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger,

ANDRÉ NONGUIERMA

Télédétecteur. Centre régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger,

ABOU AMANI

Hydrologue. Centre régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger,

ERIC SERVAT

Hydrologue. Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France,

Rôle du delta intérieur du fleuve Niger dans la régulation des bilans de l'eau et de sédiments

Cécile Picouet, Didier Orange, Gil Mahé et Jean-claude Olivry

1 Le delta intérieur du fleuve Niger est une zone stratégique pour le Mali. Sa potentialité en ressources agricoles renouvelables, liée à la présence de l'eau dans cette zone sahélienne, explique que le delta intérieur soit un lieu d'activité rurale intense (pêche, riz, élevage). Depuis une vingtaine d'années, la zone soudano – sahélienne est touchée par un déficit pluviométrique qui a provoqué une diminution des ressources en eau (Bamba *et al.*, 1996 ; Bricquet *et al.*, 1997 a ; Mahé *et al.*, 2000), ce qui a modifié et amplifié les tensions qui s'exercent sur les différents types de ressources du delta et entre les différents utilisateurs (Poncet et Orange, 1999). L'objectif de cette étude a été de comprendre le rôle du delta intérieur du Niger sur les flux d'eau et de matières, qui influencent directement la richesse trophique du milieu et dont l'évolution est en relation avec la variabilité climatique (Bricquet *et al.*, 1997 b). L'ensemble des travaux que nous avons menés s'appuie sur les observations réalisées dans le cadre du réseau de surveillance des flux particulaires et dissous transportés par le fleuve Niger au Mali. Ce réseau a été mis en place en 1990 par un programme de coopération (projet Equanis, Olivry *et al.*, 1995) entre l'IRD (anciennement Orstom) et le CNRST (Centre national de la recherche scientifique et technologique, Mali) et poursuivi en collaboration avec la DNH (Direction nationale de l'hydraulique, Mali) dans le cadre du projet Gihrex (*Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation*) de l'IRD (Orange *et al.*, 2000).

Zone d'étude

2 Le delta intérieur du Niger se situe au centre du système fluvial malien du fleuve Niger, en régions sahéliennes et subdésertiques sur environ 40 000 km^2, en bordure des régions désertiques du Sahara. Cette vaste zone d'épandage des eaux du Niger et de son principal affluent le Bani commence en amont dans les plaines et dépressions où les crues de ces deux affluents se rencontrent (entre Ké-Macina et Mopti) et se termine en aval aux

environs de Tombouctou où tous les écoulements se sont rejoints. La zone potentielle d'inondation forme un grand parallélogramme d'axe SO-NE de 400 km de longueur et 125 km de largeur, sans limites de bassin versant bien établies. De l'entrée à la sortie du delta, le fleuve Niger parcourt environ 600 km et perd seulement 12 m d'altitude, soit une pente moyenne de 2 cm km^{-1}.

3 Le delta intérieur du Niger est constitué de deux zones géomorphologiques distinctes (fig. 1) :

- le *delta amont,* correspondant à une plaine d'inondation, s'étend des points d'entrées du delta (Ké-Macina et Douna) aux grands lacs centraux ; il est caractérisé par de vastes plaines d'inondation et par un réseau complexe et hiérarchisé de défluents et de mares, parfois aménagés de façon artisanale par les populations locales ; c'est une région de grandes prairies aquatiques composées essentiellement de bourgou ;
- le *delta aval* allant des lacs centraux à Tombouctou (au port de Koryoumé) est caractérisé par trois défluents qui sillonnent entre des cordons dunaires et inondent des plaines de moindre importance, en relation plus ou moins fréquentes avec d'importants lacs périphériques en rives droite et gauche.

4 Cette étude a pour but d'aborder les conséquences sur les transferts de matières de ces deux parties du delta, dont les caractéristiques géomorphologiques sont très différentes.

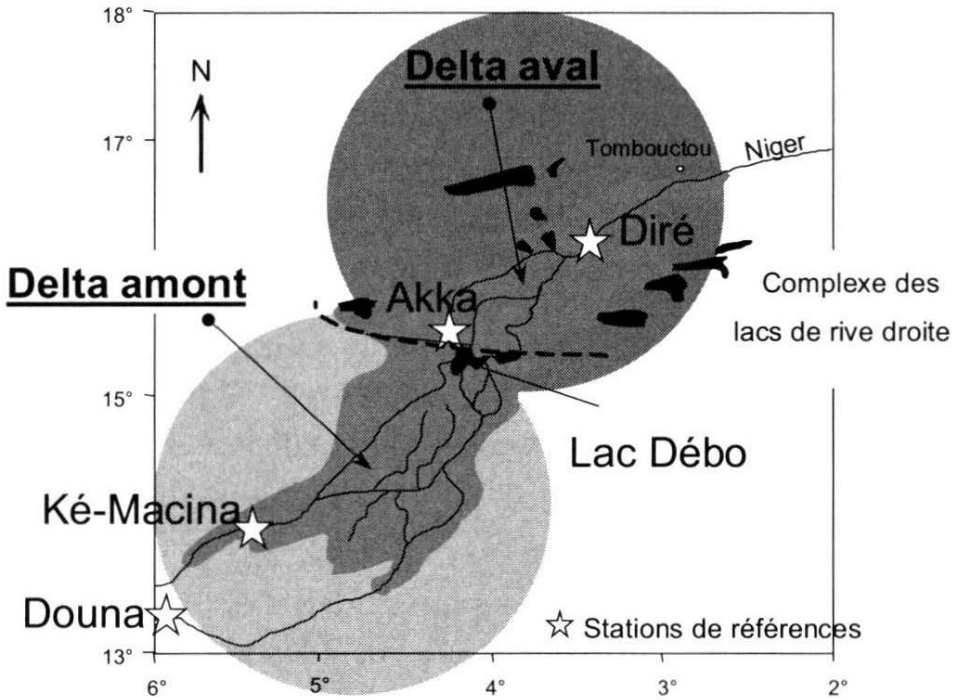


Figure 1. Géographie du delta intérieur du Niger et stations d'échantillonnage des débits et flux de matières. Les lacs sont représentés en noir et la zone inondable en grisé foncé.

Matériels et méthodes

5 Un réseau de surveillance des flux particulaires transportés par le fleuve Niger au Mali a été mis en place depuis 1991 aux différentes stations de références du delta intérieur du Niger :

- les entrées sont représentées par les stations de Ké-Macina sur le Niger (bassin versant de 141 000 km^2) et de Douna sur le Bani (102 000 km^2) ;
- les sorties du delta amont par la station de Aka sur le défluent principal du lac Débo (ainsi que deux autres stations secondaires sur les deux autres défluents) (Bricquet *et al.*, 1997 b) ;
- enfin, pour des raisons de facilités d'accès, les travaux présentés ici ont comme point de sortie la ville de Dire (340 000 km^2), située à environ 60 km en amont de Tombouctou (fig. 1).

6 On dispose d'observations journalières sur les débits écoulés et d'observations hebdomadaires sur les concentrations en *matière en suspension* (MES) de 1992 à 1998. La description de ces données, de même que la méthodologie utilisée pour l'échantillonnage, leur analyse et leur validation sont présentées dans Picouet (1999). Pour les calculs des flux de MES, la procédure de calcul utilisée dans cette étude s'appuie sur l'interpolation linéaire des concentrations instantanées hebdomadaires entre deux valeurs connues selon une méthode préconisée par Meybeck *et al.* (1996). L'ensemble des concentrations reconstituées est ensuite utilisé pour la détermination des flux journaliers, desquels sont déduits les flux moyens mensuels et annuels. L'erreur globale sur l'estimation des bilans de MES peut être estimée à moins de 15 % (Picouet, 1999).

7 Il est intéressant de noter que les années de prélèvements regroupent des cycles hydrologiques représentatifs des fluctuations hydroclimatiques de ces 25 dernières années. Comparé au module moyen de cette période, on peut distinguer des années *sèches* (1992/93, 1993/94), des années *humides* (1994/95, 1995/96) et des années *moyennes* (1996/97, 1997/98) avec respectivement un débit moyen annuel des entrées (correspondant à la somme des débits de Ké-Macina et Douna) de 800 m^3 s^{-1}, 1 590 m^3 s^{-1} et 1 110 m^3 s^{-1}.

Fonctionnement hydrologique du delta intérieur du Niger

8 Le fonctionnement hydrologique du delta intérieur du Niger est, d'une part, largement dépendant des régimes hydroclimatiques des bassins supérieurs du Niger et du Bani – l'essentiel des écoulements provient des régions amonts beaucoup plus arrosées (Bamba *et al.*, 1996 ; Olivry, 1998 ; Picouet 1999) – et, d'autre part, des conditions morphologiques propres au delta intérieur (topographie, micro-relief, forme et altitude des plaines, lacs, cuvettes...). Les conditions climatiques (pluie, évaporation, infiltration) qui entrent en considération dans le bilan hydrologique ne représenteraient que 5 à 10 % des écoulements d'eau du delta (Mahé *et al.*, sous-presse et ce volume[1]). De nombreux travaux hydrologiques ont étudié les conséquences du delta sur la crue du Niger (Brunet-Moret *et al.*, 1986 ; Mahé *et al.*, sous-presse). Ainsi du fait de l'inondation, le stockage temporaire de quantités importantes d'eau provoque l'amortissement de l'onde de crue à la sortie du delta. Par ailleurs, ces inondations induisent des pertes hydriques importantes par évaporation (les pertes par infiltration étant négligeables), d'où l'expression de *machine*

évaporatoire qui sied parfaitement au delta intérieur du Niger. Ces deux caractéristiques du fonctionnement hydrologique global du delta sont bien sûr étroitement liées ; elles sont fonction de l'extension spatio-temporelle de l'inondation, et donc des conditions hydroclimatiques (Orange *et al.*, ce volume[2]). Les bilans hydrologiques réalisés par la différence des flux d'eau entre les entrées et les sorties du delta (fig. 2) montrent que les pertes annuelles en eau sont d'autant plus fortes que les apports de l'amont le sont aussi. La perte en eau de l'hydrosystème « delta » augmente donc avec le débit annuel entrant (fig. 2). Elle représente de 30 à 45 % des apports totaux en eau selon l'hydraulicité de l'année (Picouet, 1999) et est essentiellement due à l'évaporation sur surface d'eau libre (Mahé *et al.*, ce volume).

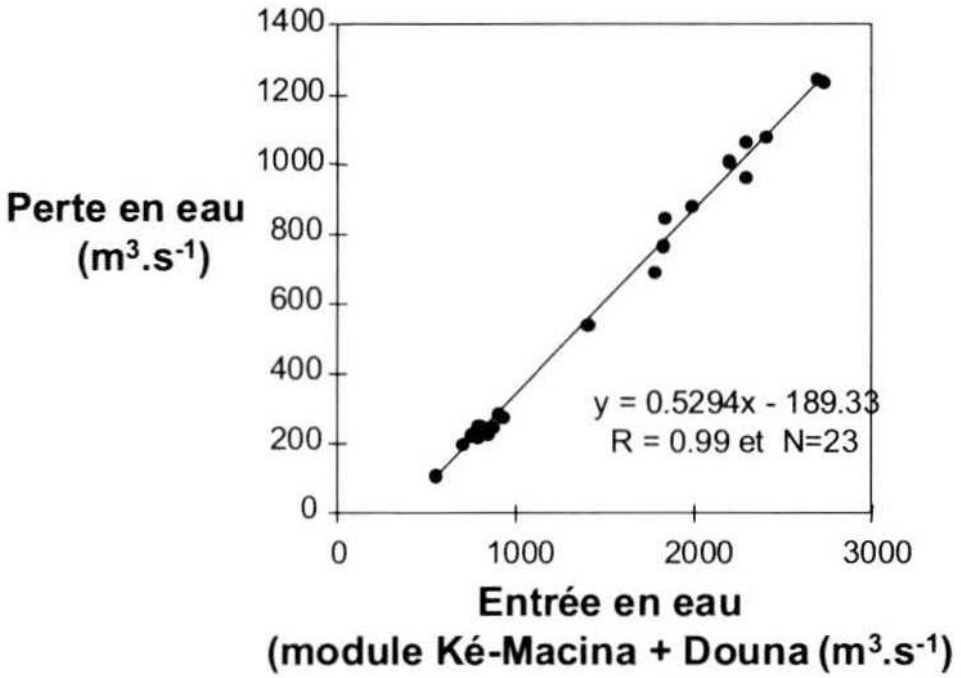


Figure 2. Relation entre les volumes d'eau entrant (somme de Ké-Macina et Douna) et sortant (à Dire) du delta intérieur du Niger de 1955 à 1997.

9 Cependant, ces pertes en eau se répartissent différemment entre le delta amont et le delta aval, mais dépendent toujours de l'hydraulicité de l'année (fig. 3) : seule l'année à très forte crue (en 1994/95) montre un équilibre des pertes entre l'amont et l'aval, alors que

les autres années les pertes par évaporation sont toujours beaucoup plus importantes dans le delta amont. Pourquoi ?

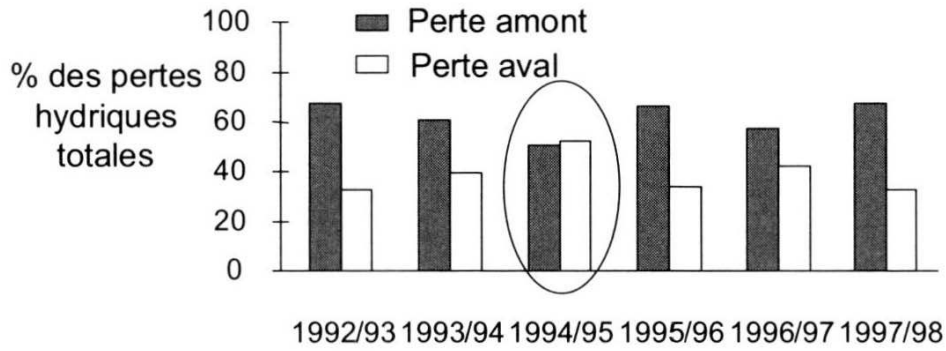


Figure 3. Répartitions des pertes en eau entre les deux parties du delta.

10 L'étude des pertes en eau mensuelles sur les deux parties du delta permet de préciser les différences dans le fonctionnement hydrologique entre l'amont et l'aval. A titre d'exemple, la figure 4 présente l'évolution des pertes en eau mensuelles au cours de l'avancement de la crue sur les différentes parties du delta pour l'année sèche 1992/93 et l'année humide 1994/95. Notons que le temps de propagation de l'onde de crue est de 15 jours à 6 semaines entre son entrée dans le delta et sa sortie, selon l'époque de l'année. Aussi pour la réalisation des bilans entrées / sorties, un décalage moyen constant d'un mois a été appliqué. Lorsque le bilan entrée / sortie du couple mensuel considéré est négatif, on parlera de « perte en eau » : effectivement, à l'échelle de l'hydrosystème pris dans son ensemble, le fleuve Niger perd de l'eau. *A contrario,* quand le bilan est positif, on parlera de « gain en eau ».

11 A l'arrivée de la crue en juillet, le delta amont joue un rôle de stockage jusqu'en octobre, puis restitue de l'eau au système – le fleuve – uniquement en année humide à partir de novembre (fig. 4a). Sur le delta aval, le delta n'aurait qu'un rôle de stockage de juillet en novembre (fig. 4b). Pour les deux années étudiées, le volume d'eau stocké mensuellement est plus important sur le delta amont que sur le delta aval ; et il est plus important pour l'année humide que pour l'année sèche aussi bien à l'amont qu'à l'aval. Le phénomène de restitution des eaux stockées dans les plaines inondées semble donc survenir uniquement sur le delta amont et seulement pour l'année humide, ce qui explique le bilan annuel équilibré entre l'amont et l'aval en 1994/95 noté en figure 3.

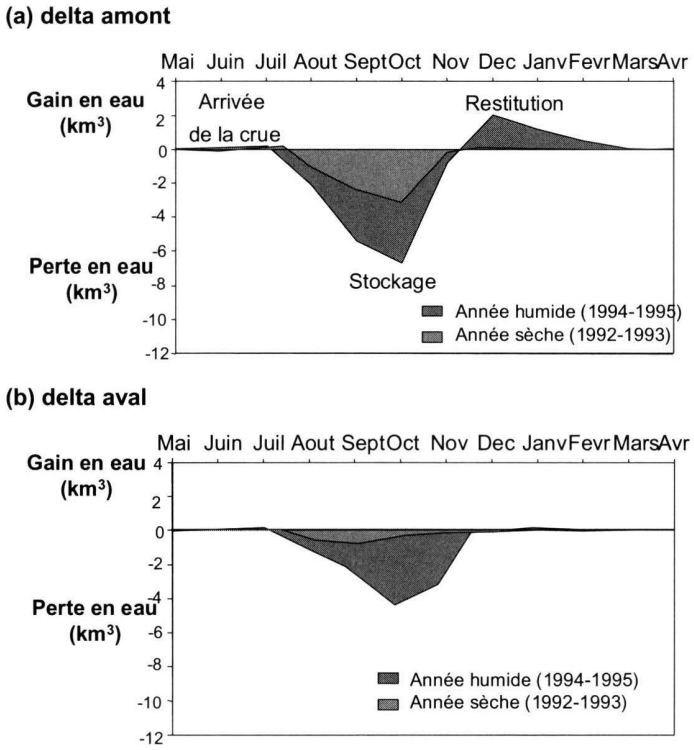


Figure 4. Comparaison des pertes mensuelles en volume d'eau (en km³) sur le delta amont (a) et sur le delta aval (b) pour une année sèche (1992/93) et pour une année humide (1994/95).

12 En fait, le delta fonctionne par seuils de remplissage de ses chenaux, mares, plaines puis lacs ; lorsque tout est plein, le surplus retourne au drain principal pour sortir du delta. Lors du cycle le plus humide de la décennie, en 1994/95, le seuil de remplissage maximum du delta amont a été atteint, d'où l'importante restitution en eau cette année-là (fig. 4). Sur le delta aval, les volumes d'eau stockés ne sont pas restitués ; il y a cette fois remplissage des lacs périphériques (fig. 1) – et notamment ceux de rive droite (les lacs Niangaye, Aougoundou, Do...) – sans retour aux drains majeurs du fleuve Niger. Du fait de l'importance en volume de ces lacs périphériques et de la morphologie spécifique du delta aval en cordon dunaire, le volume de remplissage du delta aval est plus élevé que celui du delta amont, d'autant plus que les sécheresses consécutives ont petit à petit asséché puis tari ces lacs.

13 Sur le plan hydrologique, le delta joue donc un rôle de tampon vis– à-vis de la variabilité hydroclimatique du fait de son organisation géomorphologique et de l'existence des lacs périphériques. Ce caractère a permis à ce milieu de garder intact, malgré les fortes variabilités hydroclimatiques, toute sa capacité à fournir une ressource en eau primordiale. Mais quelle est l'influence de ce fonctionnement sur la dynamique des matières en suspension ?

Bilans des matières en suspension

14 Les bilans des flux de matières en suspension transportées par le fleuve entre les entrées (Ké-Macina + Douna) et la sortie (Diré) montrent qu'il y a accumulation de sédiments dans le delta chaque année étudiée (tableau 1). Le delta intérieur retiendrait entre 0,15 million de tonnes de sédiments pour une année sèche (à faible superficie d'inondation, comme le

cycle hydrologique 1992/93) et 1,3 million de tonnes lors d'une année humide (comme en 1994/95). Encore une fois, les comportements entre delta amont et delta aval diffèrent : s'il y a toujours accumulation de sédiments dans le delta amont, les bilans sur le delta aval sont plus équilibrés avec curieusement une propension à délivrer du sédiment lors des deux années hydroclimatiquement opposées, à savoir 1992/93 et 1994/95 (tableau 1). Sur l'ensemble du delta, Picouet (1999) montre que les pertes en sédiments sont, comme les pertes en eau, une fonction croissante linéaire des flux de MES entrants. Cela se traduit par le fait que les pertes de MES sont d'autant plus importantes que les pertes hydriques par évaporation le sont aussi (fig. 5). Or seul le cycle sec 1992/93 ne répond pas à cette loi. En effet, ce cycle est caractérisé par une hydraulicité très faible et une grande partie des eaux du fleuve est restée dans le drain principal sans pouvoir déborder des berges (Orange *et al.*, ce volume). Le processus de dépôt de sédiments dans les plaines d'inondation n'a alors pas pu se faire, d'où des pertes en MES extrêmement faibles.

Tableau 1. Module hydrologique annuel entrant (en $m^3 s^{-1}$) et bilan des flux de matières particulaires transitant dans le delta intérieur du fleuve Niger (exprimés en milliers de tonnes par an). Les bilans négatifs indiquent une accumulation de sédiments dans le delta. (1) somme des flux de MES des deux entrées du delta(stations de Ké-Macina et Douna) ; (2) somme des flux de MES des émissaires sortant du lac Débo (stations de Aka, Awoye et Korientzé) ; (3) flux de MES à la sortie unique du delta (station de Diré).

Cycles hydrologiques	1992/ 1993	1993/ 1994	1994/ 1995	1995/ 1996	1996/ 1997	1997/ 1998
Débit annuel entrant ($m^3 s^{-1}$)	820	780	1 780	1 400	1 110	1 110
MES (10^3 tonnes) :						
entrées delta (1)	944	1 343	2 703	2 090	1 645	1 587
sortie Débo (2)	696	747	1 250	1 162	1 032	957
sortie delta (3)	784	766	1 487	1 183	962	887
bilan delta amont	*-248*	*-596*	*-1 453*	*-928*	*-613*	*-630*
bilan delta aval	*+88*	*+19*	*+237*	*+21*	*-70*	*-71*
bilan total	*-160*	*-577*	*-1 216*	*-907*	*-683*	*-700*

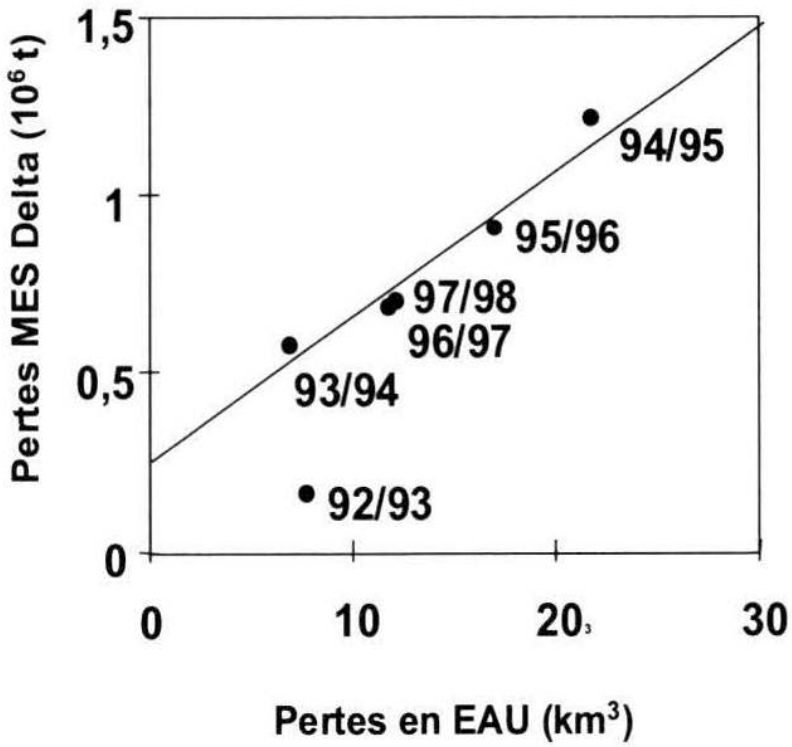


Figure 5. Évolution annuelle des pertes en sédiments (en 10^6 tonnes) dans l'ensemble du delta versus les pertes hydriques (en km^3).

15 Le delta amont est donc une immense plaine d'inondation où les nombreux méandres d'alimentation des innombrables mares et l'importante couverture végétale constituent des pièges à sédiments majeurs (tableau 1). Dans cette partie du delta, la quantité de matières déposées est fonction d'une part, de l'importance de l'inondation (directement liée à l'hydraulicité de la crue) et d'autre part, de la compétence érosive de la crue sur les versants avant son arrivée dans le delta (en fait, de la quantité de sédiments entrants). La figure 6a montre que les deux cycles hydrologiques extrêmes de notre étude (1992/93 pour le sec et 1994/95 pour l'humide) ne suivent pas exactement ce schéma. Pour le cycle sec, comme évoqué précédemment, la crue n'a pas atteint le seuil minimum pour déborder suffisamment du lit majeur. Par contre, lors du cycle 1994/95, trop de sédiments sont perdus par rapport à la norme ; du fait de la forte hydraulicité, l'inondation a pu atteindre de nombreux endroits très reculés du drain majeur, qui constituent autant de pièges à sédiments supplémentaires. La figure 6b met en évidence l'absence de perte en sédiments dans le delta aval, du fait des très faibles concentrations en MES dans les eaux (Gourcy, 1994 ; Bricquet *et al.*, 1997b), et souligne le comportement atypique du cycle 1994/95 au cours duquel les fortes pertes en eau sont accompagnées de gains significatifs en sédiments (tableau 1).

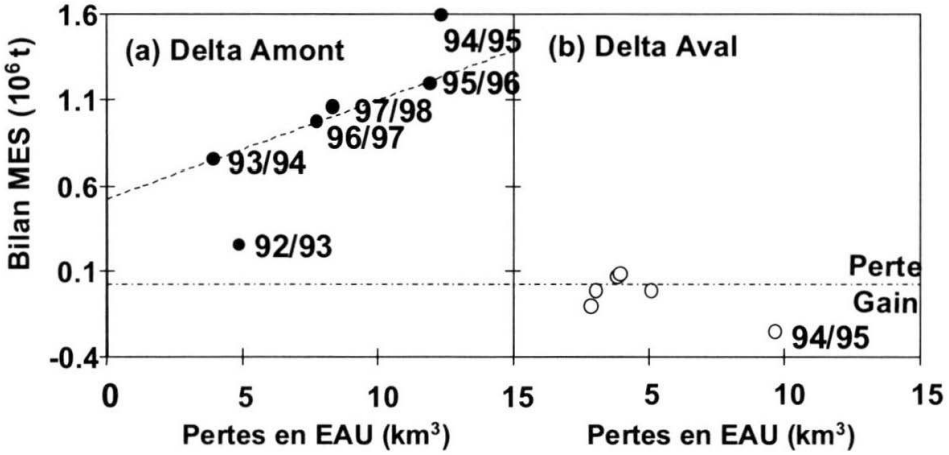


Figure 6. Évolution annuelle des pertes en sédiments (en 10^6 tonnes) versus les pertes hydriques (en km^3) pour le delta amont (a) et pour le delta aval (b).

16 L'étude des bilans de MES au pas de temps mensuel, selon la méthode décrite pour les bilans mensuels d'eau, permet de mieux comprendre ces disparités (fig. 7).

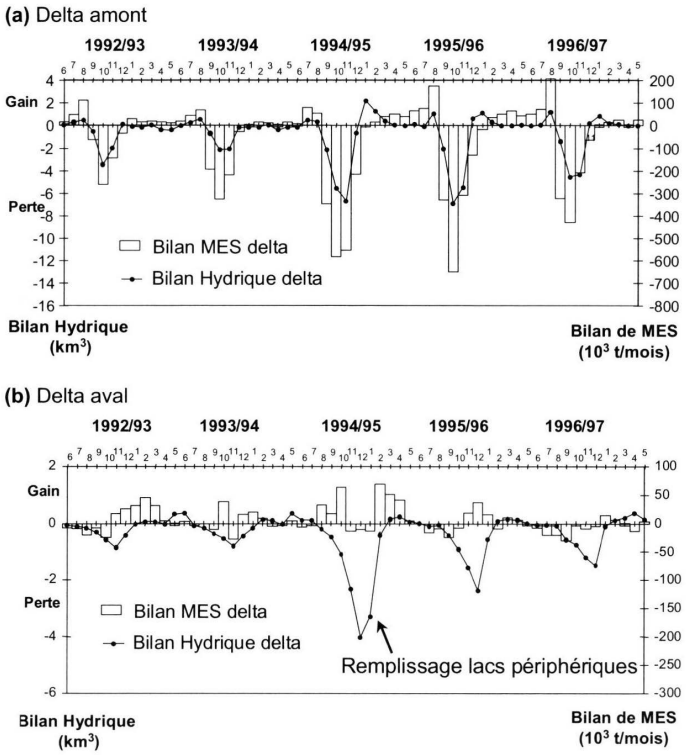


Figure 7. Évolution comparée des bilans mensuels (sorties-entrées) du transport hydrique et du transport particulaire de 1992 à 1996 dans le delta amont (a) et dans le delta aval (b).

17 Les bilans mensuels de pertes en MES sont caractérisés par l'alternance au cours du cycle hydrologique de périodes de « reprise » (aussi appelée « gain en sédiments », il y a alors exportation de sédiments en dehors du delta) et de périodes de « sédimentation » (appelée « perte en sédiments », il y a alors stockage de sédiments dans le delta). En termes de flux, la sédimentation est largement prédominante, et l'étude à l'échelle mensuelle confirme qu'elle se réalise surtout – voire uniquement – dans le delta amont,

où les périodes de sédimentation correspondent aux périodes de pertes en eau, à savoir lors de la saison de crue (de septembre à décembre) (fig. 7a).

18 Dans la partie aval, le bilan entrées/sorties des flux de matières est proche de zéro et ne semble pas dépendre de l'hydraulicité de l'année (fig. 6b). En fait, après le passage de la plaine amont et des lacs centraux, les eaux sont très peu chargées et les quantités de sédiments mises en jeu sont donc faibles. Le bilan mensuel montre que les périodes de reprises semblent toutefois êtres prépondérantes par rapport aux périodes de pertes (fig. 7b). Des reprises de sédiments sont systématiquement observées en décembre-janvier au début de la saison sèche. Elles sont surtout importantes pour les cycles 1992/93 et 1994/95. Pour les années sèches telles que 1992/93, ces gains sont sans doute liés à l'effet de l'érosion éolienne sur des versants secs (donc non inondés) peu ou pas recouverts de végétation. Au contraire, pour les années humides comme lors du cycle 1994/95, les flux d'eau de décembre sont encore importants ; des apports de sédiments par une érosion des berges encore humides ou par une forte remobilisation des sédiments déposés sur les sols inondés et sur les végétaux (lors du retour d'eau des plaines vers le fleuve) sont alors possibles.

19 Enfin, seul le cycle 1994/95 montre des gains de matières en début de crue sur le delta aval. L'importance des écoulements, associés à une forte pluviométrie cette année-là, a eu probablement pour conséquence une érosion précoce des versants encore non protégés par le couvert végétal et un effet de « chasse d'eau » des laissés de crue des années précédentes.

20 Finalement, la reprise des laissés de crues dans les lits mineurs associée à l'érosion des versants probable en début de crue, puis la remobilisation de décrue et l'érosion éolienne après la crue en début de saison sèche sont probablement les processus majeurs dans la dynamique annuelle de transport de sédiments par le fleuve dans le delta aval. Ainsi contrairement aux pertes en eau, les lacs périphériques ne semblent pas jouer un rôle majeur sur le bilan des matières transportées par le fleuve Niger au travers du delta.

Conclusion

21 Cette étude menée sur les variations mensuelles des flux hydriques et particulaires entrant et sortant du delta intérieur du Niger a permis d'appréhender le rôle de ce complexe inondable dans les transferts d'eau et de sédiments. Ce travail a confirmé les fonctionnements hydrologiques très différents entre la partie amont, proprement deltaïque, et la partie avale, caractérisée par une alternance de cordons dunaires et de petites plaines inondables. La partie amont montre un comportement assimilable à celui d'un canal distribuant par seuils de remplissage successifs des eaux dans une multitude de plaines et mares qui stockent puis restituent des volumes d'eau conséquents lorsque le seuil de remplissage maximum est atteint. A l'inverse, la partie avale ne montre que des périodes de stockage du fait de l'existence de lacs périphériques agissant comme « évacuateurs du trop plein d'eau ». L'eau capturée par les lacs est alors définitivement perdue pour le système hydrologique majeur que constitue le bras principal du fleuve Niger.

22 Cette disparité amont/aval existe aussi pour les processus de transferts de sédiments. Les bilans entrées / sorties de matières en suspension montrent que 26 à 54 % des sédiments entrants dans le delta sont perdus par le fleuve Niger lors de la traversée du delta. Ces

pertes annuelles de MES, quel que soit le niveau de crue de l'année, se font uniquement sur la partie amont qui favorise un processus d'alluvionnement du fait de sa morphologie de grande plaine inondable. Sur la zone deltaïque du delta et la zone des lacs centraux (delta amont), les bilans mensuels de MES ont pu mettre en évidence une alternance de périodes de reprise et de dépôts de sédiments. Les phases de dépôt de sédiments, largement prédominantes sur les phases de reprise, concordent avec les phases de perte en eau, centrées sur le maximum d'inondation.

23 Sur le delta aval, les bilans annuels mettent en jeu de plus faibles quantités de matières. Les pertes et les gains mensuels de matières sont très variables dans le temps et font intervenir au-delà du simple bilan hydrologique les facteurs édaphiques des versants. Enfin, si les lacs périphériques sont des pièges à eau, ils ne sont pas des pièges à sédiments, rôle joué par la grande plaine d'inondation que constitue le delta amont.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bamba F., Diabate M., Mahé G., Diarra M., 1996 – "Rainfall and runoff decrease of five river bassins of the tropical upstream part of the Niger river over the period 1951-1989". *In* Roald L.. A. (éd.) : *Global hydrological change,* EGS XXIth gen. ass., La Haye, Pays Bas, 6-10 Mayi 1996, 16 p.

Bricquet J.-P., Bamba F., Mahé G., Toure M., Olivry J.-C, 1997 a – Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Rev. Sci. Eau,* 3 : 321-337.

Bricquet J.-P., Mahé G., Bamba F., Diarra M., Mahieux A., Des Tureaux T., Orange D., Picouet C, Olivry J.-C, 1997 b – Erosion et transport particulaire par le Niger : du bassin supérieur à l'exutoire du delta intérieur (bilan de cinq années d'observation). *IAHS publ.,* 246 : 335-345.

Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J. P., Molinier M., 1986 – *Monographie hydrologique du fleuve Niger. II - Cuvette Lacustre et Niger moyen. Paris,* Orstom, coll. Monographie Hydrologique, 8, 506 p.

Gourcy L.., 1994 – *Fonctionnement hydrogéochimique de la cuvette lacustre du fleuve Niger (Mali).* Thèse doct., univ. Paris-XI, 271 p.

Mahé G., Bamba F., Soumaguel A., Orange D., Olivry J.-C, sous presse – Water losses in the Niger river inner delta : water balance and flooded surfaces. *Hydrological Processes J.*

Mahé G., Olivry J.-C, Dessouassi R., Orange D., Bamba F., Servat E., 2000 – Relations eaux de surface-eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. C. *R. Acad. Sc,* Paris, série II a, 330 : 689-692.

Meybeck M., Pasco A., Ragu A., 1996 – *Évaluation des flux polluants dans les eaux superficielles.* Étude inter-agences de l'eau, ministère de l'Environnement, Paris, 3 tomes.

Olivry J.-C, 1998 – « Hydrologie et géochimie du bassin soudano-sahélien du fleuve Niger ». *In : Hydrologie et géochimie isotopique,* Paris, Orstom, coll. Colloques et séminaires : 73-95.

Olivry J.-C, Gourcy L., Touré M., 1995 – « Premiers résultats sur la mesure des flux de matière des apports du Niger au Sahel ». *In* Olivry J.-C, Boulègue J. (éd.) : *Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone,* Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 281-292.

Orange D., Gréard M., Cissé N., Ouattara M., 2000 – *Éléments pour la réalisation d'un réseau d'observation de qualité de l'environnement dans le bassin du Niger (au Mali) : les matières en suspension, indicateur qualité.* Études et rapports Gihrex, ER54, IRD, Bamako, Mali, 43 p.

Picouet C, 1999 – *Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé : le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur.* Thèse doct. Sciences, univ. Montpellier, 454 p.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées : l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

NOTES

1. Mahé G., Bamba F., Orange D., Fofana L, Kuper M., Marieu B., Soumaguel A., Cissé N., ce volume – « Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali) ». *In : partie 2.*
2. Orange D., Mahé G., Dembélé L., Diakité C. H., Kuper M., Olivry J.-C, ce volume – « Hydrologie, agro-écologie et superficies d'inondation dans le delta intérieur du Niger ». *In : partie 2.*

AUTEURS

CÉCILE PICOUET

Hydrogéochimiste. Blancherie 32, CH-1022 Chauvannes, Renens, Suisse,

DIDIER ORANGE

Hydrogéochimiste. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France,

GIL MAHÉ

Hydrologue. IRD, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina-Faso,

JEAN-CLAUDE OLIVRY

Hydrologue. IRD, Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France,

Impact de la dynamique hydrologique sur les cycles de nutriments en zone inondable tropicale sahélienne

Didier Orange, Robert Arfi, Vincent Bénech, Marcel Kuper, Bertrand Marieu et Ibrahim Sidibé

1 Les paysages sahéliens sont des systèmes pédologiques pauvres en éléments mobilisables utiles à la chaîne trophique (Piéri, 1989 ; Sterk *et al.*, 1996). De nombreuses études ont souligné l'importance de l'organisation des formes du paysage et de son exploitation sur la dynamique spatio-temporelle des flux de nutriments (Feller *et al.*, 1991 ; Coleman et Crossley, 1996 ; Buerkert et Hiernaux, 1998 ; Valentin *et al.*, 1999). Ainsi, il a souvent été souligné que le pastoralisme extensif joue un rôle majeur dans l'organisation spatiale de la productivité des sols en milieu sec sahélien par son action sur la répartition des formes azotées du sol (Breman et de Wit, 1983 ; Mortimore, 1991 ; de Leeuw *et al.*, 1994 ; Powell et Valentin, 1998 ; Hiernaux *et al.*, 1999). Dans un précédent travail, Orange *et al.* (2000) montre que l'évolution des concentrations en nitrate, phosphate et ammonium dissous dans les eaux de surface du delta intérieur du Niger décrit un cycle annuel basé sur le cycle hydrologique, aussi bien dans les eaux du fleuve Niger que dans celles des chenaux et des mares, pérennes ou non. Aucune influence des systèmes d'exploitation n'a pu être décelée et tout se passe comme si l'inondation homogénéisait l'ensemble. Par ailleurs, des études en milieu tempéré basées sur les bilans de masse entre les apports dissous provenant des écoulements du bassin versant amont et les sorties des zones inondables ont mis en évidence que ces zones inondables pouvaient consommer de façon significative les flux d'azote et de phosphore les traversant (Johnston *et al.*, 1984 ; Brinson *et al.*, 1984 ; Haycock *et al.*, 1997 ; Fustec et Lefeuvre, 2000), d'où la notion de « zone tampon » donnée à ces écosystèmes particuliers. Qu'en est-il en milieu tropical sahélien inondable ?

2 L'opération de recherche décrite ci-dessous a été réalisée dans le cadre du projet Gihrex de l'IRD, dont l'objectif était de modéliser de la productivité du delta intérieur du Niger

en fonction de la variabilité hydrologique et des stratégies d'exploitation (Orange, ce volume[1]). Cela implique, entre autres, d'avoir une meilleure connaissance des flux de matières qui participent au fonctionnement biohydrogéochimique du delta en relation avec son exploitation par l'homme. D'une superficie d'environ 40 000 km^2, le delta intérieur du Niger est situé au centre du Mali où il désigne un ensemble de plaines inondables, de lacs, de mares et de chenaux alimentés par le fleuve Niger, entre Ségou au sud (l'aval) et Tombouctou au nord (l'amont). Dans cette zone sahélienne, l'arrivée des eaux fluviales à la faveur des crues annuelles est à l'origine d'un fort développement biologique donnant lieu à une forte production en ressources naturelles renouvelables, exploitées par trois systèmes d'exploitation majeurs se partageant l'espace et le temps selon le rythme saisonnier imposé par le cycle hydrologique du fleuve Niger : pêches saisonnières, cycles de culture de riz pluvial et transhumances des troupeaux (Gallais, 1984 ; Poncet et Orange, 1999). Les premières mesures de qualités chimique, organique et biologique de l'eau montrent que cet écosystème d'une grande richesse apparente serait un système plutôt oli-mésotrophe, où toute activité trophique est sous-tendue par l'accès à la ressource primaire (Arfi, 1998, 1999 ; Arfi et Bénech, 1999 ; Arfi, ce volume[2]). Cette étude de la répartition spatiale au cours du temps des teneurs en nutriments dans une plaine inondable du delta intérieur du Niger se propose d'appréhender le rôle des plaines d'inondation sahéliennes sur le cycle des nutriments en utilisant des bilans de masse sur les exportations dissoutes d'azote et de phosphore.

Présentation de la zone d'étude et méthodologie

Une plaine inondable du delta : la plaine de Débaré

3 La zone d'étude est située à une cinquantaine de kilomètres au nord de Mopti, dans la partie centrale amont du delta intérieur du Niger, près du village de Batamani. Dans ce terroir de 16 km, on s'est particulièrement intéressé à la mare de Débaré et sa plaine, l'ensemble couvrant une superficie de 480 ha (fig 1). Cette mare permanente se remplit lors de la crue *via* le mayo Ninga, défluent du fleuve Niger situé à 150 m. Dans la plaine dont elle dépend – et qui représente l'impluvium de la mare –, se trouvent trois autres mares non pérennes (à savoir : Débaré Ouest, Débaré Fitini et Komina), le tout étant relié par un ensemble complexe de chenaux. Le fonctionnement hydrologique de la mare et ses systèmes d'exploitation sont décrits dans Rousseau (1998), Diarra (1999), Marieu (2000) et Orange *et al.* (2000).

Principes et protocoles d'échantillonnage

4 Malgré la diversité des formes d'existence de l'azote et de l'ubiquité de cet élément dans la biosphère, le transport d'azote dans les bassins versants s'effectue majoritairement sous forme minérale dissoute (Meybeck, 1982 ; Amstrong et Burt, 1993). Dans ce travail, les autres formes d'azote – notamment les transports sous forme organique particulaire ou minérale ammoniacale adsorbée sur les colloïdes argileux ou humiques – ne sont pas prises en compte. Pour le phosphore, bien que cet élément soit conservatif dans les écosystèmes, puisque contrairement à l'azote il n'a pas de perte gazeuse, l'appréciation de son bilan de masse reste difficile à aborder du fait de l'intervention majeure de la biomasse vivante dans son transfert et de ses faibles teneurs (Dorioz *et al.*, 1989 ; Mitsch et

Gosselink, 1993). Le phosphore est en effet principalement apporté sous forme solide dans les zones inondables, et un échange permanent entre formes solides et formes dissoutes se réalise ; Fardeau et Dorioz (2000) notent d'après les travaux de Peterjohn et Corell (1984) puis Cooper et Gilliam (1987) que la diminution de la charge de phosphore dans les eaux circulant dans une zone humide ouverte est essentiellement due à la diminution du phosphore particulaire. A partir de cette constatation, il est opportun d'appréhender la biodisponibilité du phosphore dans une plaine inondable en fonction de la seule donnée en phosphore dissous.

5 Durant une saison hydrologique (du 9 août 1998 au 11 mars 1999), neuf points de prélèvement d'eau de surface (fig. 1) ont fait l'objet d'un suivi régulier (transparence, pH, conductivité, températures de l'eau, nutriments, carbone organique, matières en suspension, chlorophylle ; Arfi, 1998, 1999 ; Diarra, 1999). Un point de mesure est situé sur le Niger en amont du mayo Ninga (point n° 1), ce qui permet de suivre les apports du fleuve à la plaine d'inondation. Le point n° 2 se situe dans le canal d'alimentation – ou de vidange, selon l'époque – de la mare principale, où deux prélèvements sont effectués : le point n° 3 en eau libre et le point n° 8 dans le *bourgou*[3] (fig. 1). Trois autres points sont situés dans les trois mares satellites (n° 4 pour Débaré Ouest, n° 5 pour Fitini et n° 6 pour Komina). Le point n° 7, dans le chenal du Shio à l'extrémité sud-ouest de la plaine, est le seul autre point d'entrée ou de sortie des eaux du système « plaine de Débaré ». Enfin le point n° 9 est situé dans une parcelle de riziculture au sud de la mare. Les prélèvements ont été journaliers dans les eaux libres de la mare de Débaré et du canal et dans le bourgou (points n° 2, 3 et 8) ; cela représente près de 150 échantillons d'eau collectés et analysés par point de prélèvement. Pour les autres stations (n° 1, 4, 5, 6, 7, 9), les prélèvements furent hebdomadaires sur la période précitée. Ici, nous discuterons uniquement de la dynamique spatiotemporelle des concentrations en nitrate (NO_3^-), phosphate ($_{PO4}^{3-}$) et ammonium (NH_4^+).

6 Le protocole d'échantillonnage est le suivant : prélèvement d'un litre d'eau à 30 cm sous la surface, filtration sur le terrain immédiatement après le prélèvement sur filtre acétate de 0,2 um de porosité et 45 mm de diamètre, suivi d'un empoisonnement du filtrat au chlorure mercurique, conservation à l'obscurité sur le terrain puis au frais dès l'arrivée au laboratoire, et dosage par colorimétrie Technicon au laboratoire d'analyse de l'IRD à Bouaké (Côte d'Ivoire), les temps de transferts allant de 1 à 4 mois. L'analyse de toutes les valeurs brutes est disponible dans Diarra (1999) et Paget (1999).

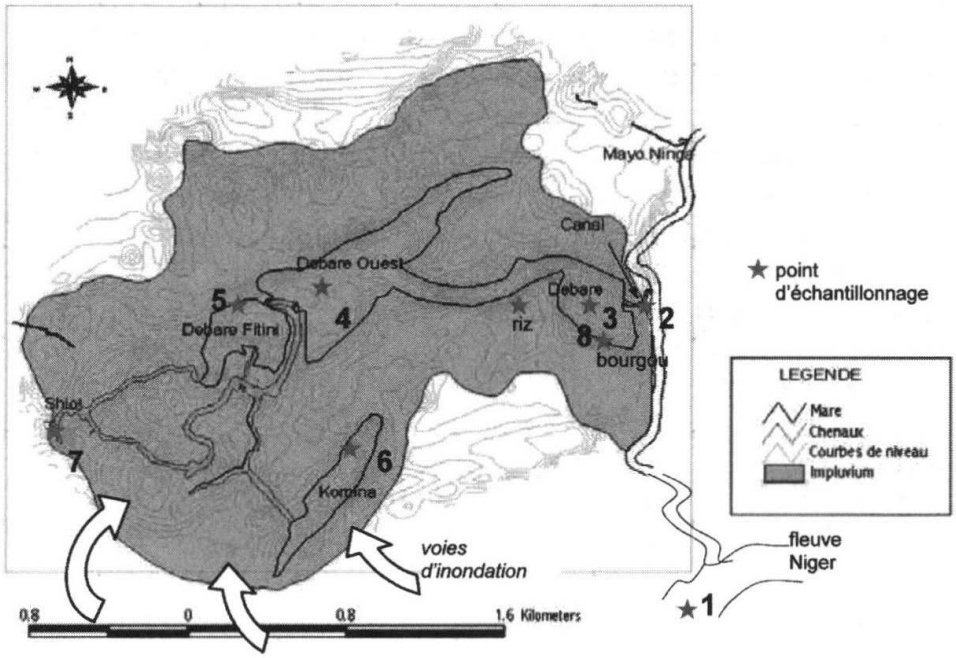


Figure 1. Hypsométrie de la plaine de Débaré, position géographique des points d'échantillonnage des eaux de surface (avec leurs numéros de référence), et indication des voies d'inondation de la plaine par débordement du fleuve Niger.

Un système à inondation rapide et totale

7 La compréhension des cycles de l'azote et du phosphore au niveau de la plaine d'inondation passe obligatoirement par une évaluation quantitative des flux d'eau qui traversent l'écosystème étudié. Pour cela, l'impluvium de la plaine de Débaré est considéré, à l'égal d'un bassin versant, comme l'unité géographique de référence.

8 Chaque année, le remplissage de la mare commence début août. La hauteur d'eau au centre de la mare passe de 0,5 m à plus de 2 m d'eau en 15 jours. Cette mise en eau rapide et totale de la plaine représente une caractéristique essentielle de cet écosystème. La superficie inondée passe de quelques hectares le 9 août (début des écoulements dans le canal, et donc du remplissage de la plaine) à 300 ha une quinzaine de jours plus tard, et à la totalité de la plaine (soit 480 ha) un mois seulement plus tard (le 20 septembre). Le maximum d'inondation, correspondant à une hauteur de 3,7 m d'eau au point le plus profond de la mare, est atteint début novembre (fig. 2). Ensuite, la vidange de la plaine est très rapide en décembre (on passe de 2,5 m à 1,5 m d'eau en deux mois, décembre et janvier), puis se ralentit progressivement pour arriver au tarissement complet le 7 mars 1999. La plaine est alors à nouveau isolé en raison de l'existence d'un seuil dans le canal. Les pertes en eau ne se font alors que par évaporation, l'infiltration étant négligeable (Diarra, 1999 ; Marieu, 2000).

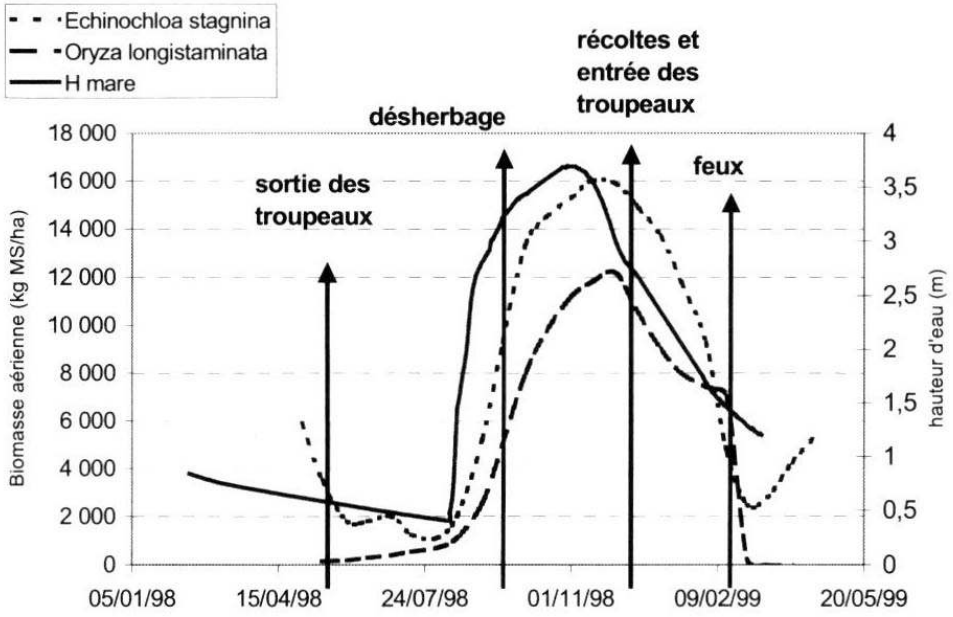


Figure 2. Évolution mensuelle de la hauteur d'eau (crue 1998/99) dans la plaine de Débaré et de la biomasse végétale (bourgou ou *Echinochloa stagnina* en pointillé ; riz ou *Oryza longistaminata* en tireté).

9 Le passage entre remplissage et vidange de la plaine se matérialise par un changement de sens d'écoulement dans le canal reliant la plaine Débaré au mayo Ninga. Mais ce changement de sens n'est pas synchrone de la baisse du niveau d'eau dans la mare : en fait, il s'effectue juste avant la pointe de crue et correspond au début de l'inondation généralisée de la plaine (le 20 septembre 1998). On est alors à l'étalé : l'eau rentre par le Shio et les débordements des bourrelets de berge du sud de la plaine (cf. les « voies d'inondation » indiquées en figure 1), alors que la vidange se fait par le canal.

Tableau 1. Bilan en eau de la plaine d'inondation de Débaré lors du cycle hydrologique 1998/99. Les valeurs positives indiquent les entrées d'eau dans la plaine, les valeurs négatives indiquent les sorties d'eau de la plaine. L'ensemble « Shio + inondation » désigne le volume d'eau apporté par les débordements d'inondation du sud de la plaine.

Périodes hydrologiques	Périodes calendaires	Niger à Mopti $m^3 s^{-1}$	Débit du canal $m^3 s^{-1}$	Volume de la mare $10^3 m^3$	Flux d'eau écoulé $10^3 m^3$	
					par le canal	par le Shio+inond
BE *basses-eaux*	mars - août	226	0	60	0	0
ME *montée des eaux*	août - septembre	1 950	2,6	2 930	9 200	0
HE *hautes-eaux*	septembre – novembre	2 600	-1,0	8 800	-5 500	8 600
DE *Décrue*	novembre – mars	430	-0.6	1 670	-5 200	0

10 Le bilan de l'eau de la plaine, présenté dans le tableau 1, prend en compte les apports d'eau directs à la mare par la pluie et son ruissellement sur les versants, l'infiltration dans les sols et les pertes par évaporation. L'évaluation du volume d'eau de la mare est calculée

à partir d'un relevé topographique au 1/5 000e réalisé par Marieu (2000). Durant la montée des eaux, 9,2 millions de m^3 d'eau rentrent par le canal (avec un débit moyen de 2,6 m^3 s^{-1}, le pic de débit ayant été atteint le 23 août 1998 avec 5,5 m^3 s^{-1}). En hautes-eaux, correspondant à la période d'inondation généralisée, 8,6 millions de m rentrent par les débordements sud de la plaine pendant que 5,5 millions de m^3 sortent par le canal. Enfin en décrue, le canal est à nouveau le seul point par où l'eau transite : 5,2 millions de m^3 sortent alors de la plaine. Le volume maximum d'eau de la mare est atteint du 29 octobre au 4 novembre 1998 avec 10,5 millions de m^3.

11 A la faveur de cette dynamique hydrologique, le couvert végétal aérien se met très rapidement en place en commençant par le bourgou puis le riz, la biomasse aérienne atteignant son maximum fin novembre, soit un mois environ après le pic d'inondation (fig. 2). Les grands moments d'exploitation de la plaine sont marqués par la sortie des troupeaux en mai-juin juste avant la montée des eaux, le désherbage en août, puis la récolte et le retour des troupeaux en décembre. Il faut aussi évoquer la possibilité de feux en février-mars.

Dynamique spatio-temporelle des teneurs en nutriments dissous

Système pauvre en nitrate et phosphate, riche en ammonium

12 Les teneurs moyennes en nitrate, phosphate et ammonium des eaux du Niger et de la mare de Débaré sont présentées dans le tableau 2. Les concentrations en nitrate ont varié entre 30 et plus de 500 µg l^{-1} pour les eaux du fleuve, entre 25 et plus de 2 300 µg l^{-1} pour les eaux libres de la mare. Respectivement, les teneurs en phosphate ont varié dans les intervalles 10 – 50 µg l^{-1} et 5 – 70 µg l^{-1}, et les teneurs en ammonium 10 – 500 µg l^{-1} et 0 – 370 µg l^{-1} (tableau 2). Les teneurs en nitrate et phosphate sont toujours maximales durant les basses-eaux et la montée des eaux, puis une nette diminution est enregistrée en descente des eaux (fig. 3). A partir de novembre jusqu'au retour des pluies de l'année suivante, les teneurs moyennes en nitrate et phosphate sont équivalentes dans les deux systèmes (fleuve et mare), de l'ordre de 70 µg l^{-1} pour les nitrates et 20 µg l^{-1} pour les phosphates, correspondant respectivement à 16 µg N-NO3 l^{-1} et 4 µg P-PO4 l^{-1}. Ces valeurs sont très largement inférieures aux valeurs globales relevées dans la littérature pour des eaux non polluées dites naturelles, à savoir entre 16 et 240 µg $N\text{-}NO_3$ l^{-1}, et entre 1 et 24 µg $P\text{-}PO_4$ 1^{-1} (Meybeck, 1982). Nitrates et phosphates peuvent donc constituer des facteurs limitant au développement de la biomasse dans cet écosystème.

Tableau 2. Caractéristiques des teneurs en nitrate, phosphate et ammonium des eaux du fleuve Niger à l'amont de la plaine de Débaré et des eaux de la mare de Débaré (en µg l^{-1}). n : nombre d'échantillons analysés, respectivement du fleuve / de la mare ; moy. pond. : moyenne pondérée par le débit du fleuve ou le volume d'eau de la mare.

		Fleuve Niger (point n° 1)			Mare de Débaré (point n° 3)		
		NO_3^- (µg l^{-1})	PO_4^{3-} (µg l^{-1})	NH_4^+ (µg l^{-1})	NO_3^- (µg l^{-1})	PO_4^{3-} (µg l^{-1})	NH_4^+ (µg l^{-1})
Basses-eaux	*moy. pond.*	–	–	–	*1 155*	*51*	*165*
	moyenne	66	16	101	1 200	55	153
n = 1 / 9	min	–	–	–	510	33	98
	max	–	–	–	2 300	67	220
Montée des eaux	*moy. pond.*	*252*	*41*	*223*	*145*	*30*	*156*
	moyenne	259	41	225	139	30	151
n = 6 / 30	min	71	27	77	26	13	62
	max	557	52	324	340	51	309
Hautes-eaux	*moy. pond.*	*66*	*22*	*331*	*74*	*19*	*142*
	moyenne	66	23	329	74	19	142
n = 9 / 55	min	29	11	119	30	10	25
	max	143	48	504	155	44	287
Décrue	*moy. pond.*	*51*	*11*	*101*	*57*	*11*	*132*
	moyenne	61	11	222	61	12	122
n = 9 / 64	min	37	8	12	20	5	0
	max	95	16	474	151	35	366

13 Les teneurs en ammonium sont maximales durant les hautes-eaux dans le fleuve, alors que dans la mare il ne semble pas y avoir d'évolution des concentrations au cours de l'année, bien qu'elles fluctuent quotidiennement très fortement (fig. 4). Ces variations journalières rapides et importantes peuvent probablement être attribuées au mode de prélèvement en un seul point de la colonne d'eau, l'ammonium provenant notamment d'apports verticaux. Dans les eaux de la mare, le niveau moyen d'ammonium est de l'ordre de 100 µg l^{-1} $N\text{-}NH_4$, ce qui est supérieur à l'encadrement moyen global retenu par Meybeck (1982). pour les eaux de surface naturelles (de 7 à 60 µg l^{-1} $N\text{-}NH_4$).

Deux logiques différentes d'évolution des teneurs en nitrate et phosphate

14 En tous les points prélevés, les teneurs en nitrate et phosphate ont une évolution similaire au cours du cycle hydrologique : fortes concentrations en début d'inondation puis diminution des teneurs au cours du cycle (fig. 3). Mais dans le détail, nitrate et phosphate montrent deux logiques distinctes.

15 Les teneurs en nitrates sont maximum avant le 20 septembre[4] – durant la montée des eaux – pour devenir faibles dès le pic de crue puis montrent ensuite de petites fluctuations sans tendance marquée. En fait, les nitrates sont apportés massivement par le fleuve en début de crue (d'où des valeurs identiques entre le Niger, le canal et la mare) à la faveur de la montée des eaux, où les premières vagues d'ondes de crue correspondent aux lessivages des laissés de crue et aux ruissellements sur les versants apportant

notamment des eaux très fortement turbides (Diarra, 1999 ; Orange *et al.*, 2000). Ce schéma ne se retrouve pas vraiment dans les autres sites plus éloignés (sauf dans le bourgou mitoyen de la mare) où les valeurs en montée des eaux sont beaucoup plus faibles. Pour conclure, on retiendra que le nitrate rentre dans le système à la faveur de la montée des eaux lorsque l'alimentation se fait par le canal puis tarit brusquement.

16 Pour les phosphates en revanche, tout semble se passer à peu près de la même manière partout (fig. 3). Encore ne fois, les teneurs sont maximales avant le 20 septembre mais ensuite la diminution est lente jusqu'en décembre. Pour les phosphates, il semble donc y avoir un flux plus ou moins continu avec une diminution d'intensité tant que dure l'écoulement. En effet, les terres mises en eau ont été intensément fréquentées par des troupeaux, enrichies par les déjections qui ont séché sur place, ce qui induit forcément un relarguage local de phosphore pendant toute la durée de l'inondation. Ainsi contrairement aux nitrates dont les teneurs sont très faibles passé le pic de crue, on a une lente décroissance des phosphates bien tracée partout.

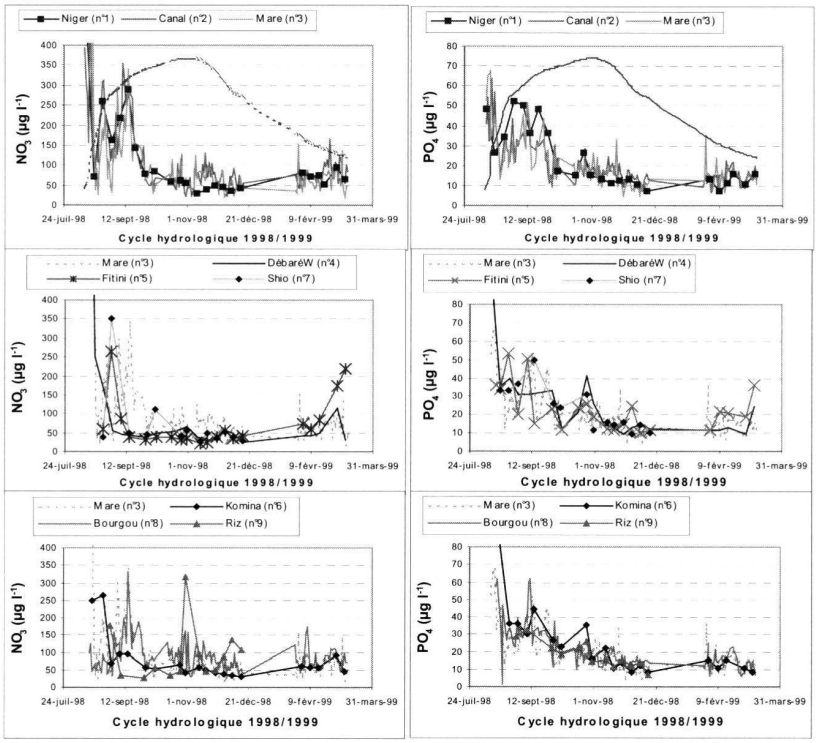


Figure 3. Évolution des teneurs en nitrate et phosphate des eaux de surface de la plaine de Débaré, au cours du cycle hydrologique 1998/99 (l'évolution du niveau des eaux de la mare de Débaré est indiquée sur les deux figures du haut).

Dynamique spatiale spécifique de l'ammonium

17 Dans les eaux du fleuve, la dynamique temporelle de l'ammonium est très différente de celles du nitrate et du phosphate. Le maximum annuel de concentration correspond à la période des hautes-eaux (fig. 4) après une légère « impulsion » au moment de la montée des eaux. En fait, on a un maximum d'ammonium quand nitrate et phosphate sont en constante diminution. De plus, l'évolution des teneurs en ammonium n'est pas la même en tous les lieux : les eaux de la mare et du canal se distinguent des eaux des mares satellites et du fleuve Niger (fig. 4). En effet, si dans la mare et le canal les concentrations

en ammonium fluctuent toute l'année autour de la même ligne de base (de l'ordre de 140 µg l^{-1}), par contre les teneurs augmentent fortement dans les eaux du Niger, passant de 100 µg l^{-1} à plus de 300 µg l^{-1} entre la mi– septembre et la mi-octobre, évolution enregistrée également dans les eaux des mares satellites (fig. 4). Cette augmentation est concomitante de l'inversion du courant dans la mare (*i.e.* entrée des eaux par le Shio et le débordement sud de la plaine), correspondant aussi à la diminution de la turbidité des eaux (le disque de Secchi passant de 50 à 80 cm et les matières en suspension de 20 mg l^{-1} à 5 mgl^{-1}, Diarra, 1999). A la mi– décembre, soit un mois après le début de la décrue, les concentrations décroissent brusquement partout pour se retrouver aux mêmes teneurs que celles des eaux de la mare et du canal durant toute la phase de tarissement.

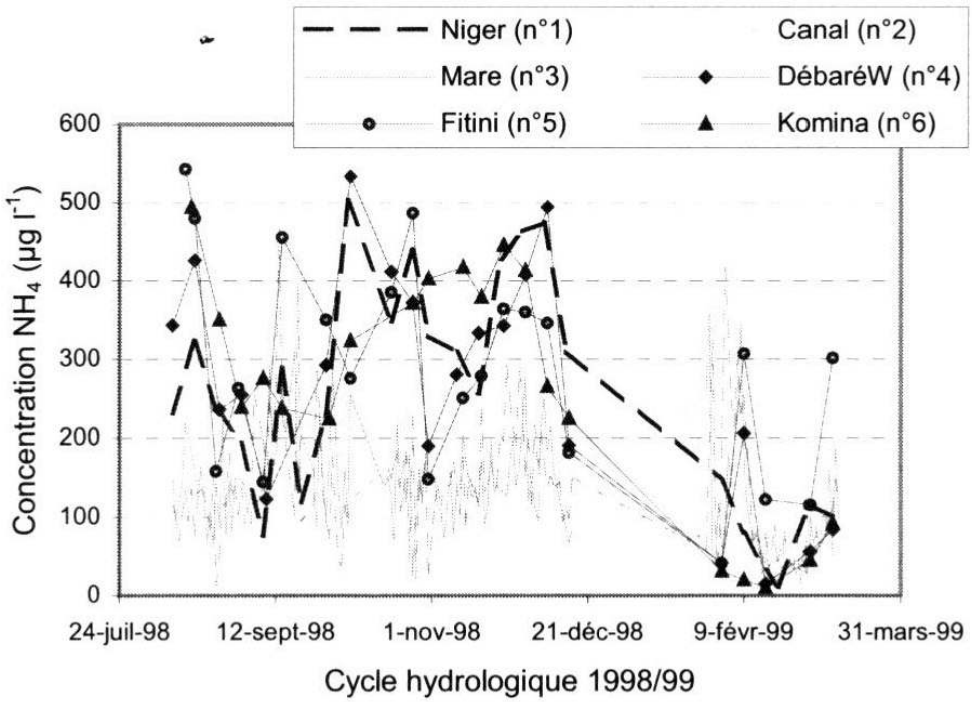


Figure 4. Évolution des teneurs en ammonium des eaux de surface de la plaine de Débaré, au cours du cycle hydrologique 1998/99.

18 L'évolution des teneurs en ammonium dans les eaux de la parcelle rizicole (point n° 9) est identique à celle des eaux du Niger, alors que l'évolution des eaux du point n° 8 dans la bourgoutière de la mare, situé non loin du point n° 9 précédent (fig. 1), est identique à celle de la mare (fig. 5). Il semble donc y avoir un mélange parfait entre eaux libres de la mare et les eaux de la bourgoutière.

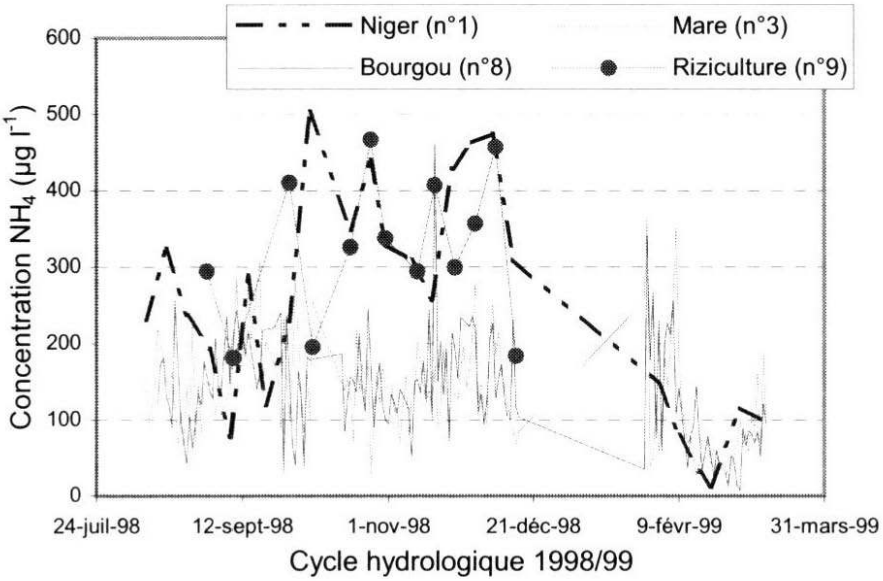


Figure 5. Comparaison de l'évolution des teneurs dissoutes en ammonium entre les eaux de la mare de Débaré et du fleuve Niger, et celles de la bourgoutière et de la plaine rizicole, au cours du cycle hydrologique 1998/99.

19 Finalement, l'ammonium rentre dans le système à la faveur du débordement du lit du fleuve au début de l'inondation généralisée (après le 20 septembre). L'ennoiement de toutes les terres inondables de la plaine induit une remise en suspension des matières organiques du sol et une mise en eau de toute sa biomasse végétale, ce qui provoque une forte libération d'ammonium dans les eaux. L'ammonium se répartit dans les mares temporaires qui se trouvent alors – du fait du changement de sens du courant – situées en amont de la mare de Débaré, transite jusqu'à la mare de Débaré par le bourgou où l'ammonium est piégé, retenu, consommé, avant d'arriver en faible quantité dans le canal : les eaux retournent épurées au Niger. En effet, la diminution relative des teneurs en ammonium entre les eaux du Niger et celles de la mare indique obligatoirement une consommation de cet élément avant et dans les eaux de la mare de Débaré : consommation directe de l'ammonium par le phytoplancton, nitrification et consommation du nitrate résultant par la biomasse végétale (notamment aux passages dans les bourgoutières). Dans les mares satellites, les concentrations en ammonium sont identiques à celles des eaux du Niger car les eaux y sont encore fortement turbides et ont encore une forte hydraulicité, autant de facteurs non favorables à la consommation de l'ammonium. C'est seulement quand les eaux de débordement arrivent au niveau des zones à macrophytes bordant la mare de Débaré (zones à bourgou), qu'elles perdent leur vitesse et une grande partie de leur charge particulaire. A ce moment-là, un développement des algues et donc une consommation de l'ammonium présent dans les eaux est possible. Par contre, les eaux de la parcelle rizicole gardent des teneurs élevées en ammonium à cause du désherbage puis de la récolte qui engendrent un maintien ponctuel de la turbidité et empêchent des conditions favorables à la consommation de l'ammonium.

Bilan des flux dissous de nutriments dans une plaine inondable du delta

Bilans massiques saisonniers : stockage et consommation de la plaine

20 Le bilan de masse entrée-sortie de la plaine de Débaré est effectué en fonction du bilan de l'eau calculé par phase hydrologique et à partir des teneurs mesurées au niveau des points d'entrées et de sorties de la plaine, à savoir le canal (point n° 2) et le Shio (point n° 7). Le bilan de masse des nutriments ainsi réalisé montre que la plaine de Débaré stocke majoritairement les apports en nutriments durant la période de montée des eaux (au remplissage de la plaine) pour les consommer lors des hautes-eaux (tableau 3). Pendant la période d'inondation généralisée, seul l'ammonium est fortement apporté à la plaine (avec un flux de 2,9 t de $N\text{-}NH_4$), dont 73 % sera stocké dans la plaine pendant ce temps. La consommation en nitrate et phosphate lors de la période des hautes-eaux est telle que le niveau de concentration des eaux atteint devient vite un facteur limitant de la production algale de ce milieu. Cela doit également participer au fait que l'ammonium ne puisse alors être mieux utilisé par le milieu, ce qui pour l'écosystème se traduit en décrue par une importante perte d'azote sous forme d'ammonium. On enregistre alors une perte d'une tonne d'ammonium, quantité représentant presque la moitié de la masse d'ammonium stockée dans la plaine lors de l'inondation généralisée.

Tableau 3. Bilan de masse entrée/sortie des nutriments (en tonnes) dans la plaine de Débaré, lors du cycle hydrologique 1998/99. Flux > 0 : flux entrant dans la plaine ; flux < 0 : flux sortant ; BE : basses-eaux ; ME : montée des eaux ; HE : hautes-eaux ; DE : décrue.

Période	Signification hydrologique	Date	NO_3		PO_4		NH_4	
			flux	bilan	flux	bilan	flux	bilan
BE	*pas écoulem. :* syst. Isolé	08/03/1998 09/08/1998	+0 -0	0	+0 -0	0	+0 -0	0
ME	*remplissage :* syst. Ouvert	10/08/1998 19/09/1998	+2,01 -0	+2,01	+0,30 -0	+0,30	+1,23 -0	+1,23
HE	*inondation généralisée :* syst. Ouvert	20/09/1998 24/11/1998	+0,46 -0,42	+0,04	+0,17 -0,10	+0,08	+2,91 -0,79	+2,13
DE	*vidange :* syst. Ouvert	25/11/1998 07/03/1999	+0 -0,31	-0,31	+0 -0,07	-0,07	+0 -0,97	- 0,97
BE	*pas écoulem. :* syst. isolé *:*	08/03/1999 02/06/1999	+0 -0	0	+0 -0	0	+0 -0	0
Bilan annuel	---------	*cycle 1998/99*	*+2,47* *-0,73*	*+1,74*	*+0,48* *-0,17*	*+0,31*	*+4,14* *-1,75*	*+2,39*

Bilan annuel des flux de nutriments

21 En termes de bilan annuel, 2,47 t de nitrate, 0,48 t de phosphate et 4,14 t d'ammonium entrent dans la plaine de Débaré, ce qui représente un apport de 5,2 kg ha^{-1} an^{-1} de NO_3,

1,0 kg ha^{-1} an^{-1} de PO_4 et 8,6 kg ha^{-1} an^{-1} de NH_4 ; 70 % du nitrate, 65 % du phosphate et 58 % de l'ammonium sont retenus. Cela équivaut à une consommation de 3,6 kg ha^{-1} an^{-1} de NO3, 0,65 kg ha^{-1} an^{-1} de PO_4 et 4,98 kg ha^{-1} an^{-1} de NH_4. La plaine de Débaré stocke donc plus de 60 % des nutriments qui lui sont apportés par la crue du fleuve lors d'un cycle hydrologique. C'est donc bien une formidable usine à production de biomasse végétale, à boucle de productivité rapide. Malgré cela, une grande quantité de nutriments ne font que transiter dans la mare et sortent du système. Il y a aussi des effets d'échange depuis le sédiment, non pris en compte ici (libération vers l'eau mais aussi adsorption du phosphate sur des argiles ou immobilisation des nutriments dans un hypolimnion non accessible (cf. Arfi, ce volume[5]).

Conclusion

Dynamique des nutriments et fonctionnement biogéochimique de la plaine

22 Le schéma général du fonctionnement biogéochimique d'une plaine d'inondation du delta intérieur du Niger peut être établi comme suit. Les eaux du fleuve Niger apportent aux plaines du delta des teneurs importantes en nitrate, phosphate et ammonium dès les premiers écoulements de la crue. En effet, à la mise en eau des plaines, les concentrations en nutriments suivent exactement les concentrations des eaux du Niger, avec une consommation biologique probablement très réduite en raison de la forte turbidité des eaux. Puis quand la turbulence de l'eau diminue et quand la transparence augmente, le cycle de production primaire peut commencer. Nitrate et phosphate sont consommés autant dans la plaine que dans le fleuve, alors que l'ammonium est surtout consommé dans les plaines au niveau des zones à faible turbulence. Enfin, notons que les nitrates et phosphates deviennent vite des facteurs limitant pour l'activité algale, la plaine ne pouvant alors consommer tout l'ammonium à sa disposition. En effet, dès octobre, les concentrations en nitrate et phosphate sont inférieures respectivement à 70 µg l^{-1} et 15 µg l^{-1}. Par contre, le niveau en ammonium reste important, de l'ordre de 130 µg l^{-1}.

23 Cette évolution du fonctionnement biogéochimique de la plaine de Débaré met en évidence toute l'importance de l'hydrologie sur la consommation en nutriments de cet écosystème et donc finalement sur le bilan stock/consommation en azote et phosphore du delta intérieur du Niger. Ainsi, la turbidité et l'hydrodynamisme seraient les principaux paramètres expliquant l'évolution différentielle des teneurs en nutriments de la plaine par rapport aux apports des eaux du fleuve. N-NO3 et P-PO4 sont stockés lorsque la turbidité de l'eau est faible indifféremment de la vitesse du courant, alors que N-NH_4 est stocké uniquement lorsque la turbidité et la vitesse de l'eau sont faibles, le tout étant à chaque fois contrôlé par la concentration des apports en nutriments de l'amont. Cela revient à dire que dans les plaines d'inondation du delta intérieur du Niger, l'azote et le phosphore sont stockés en période de montée des eaux, puis consommés en périodes de hautes-eaux et de décrue. Notons que le fleuve ne réunit jamais les conditions favorables à la consommation ou au stockage de l'ammonium, contrairement à la plaine où 83 % de l'azote consommé dans la plaine provient de l'ammonium.

24 Dans ces conditions, les plaines d'inondation du delta intérieur du Niger sont des usines à produire efficaces, consommant 70 % des apports en N-NO3 et P-PO_4, mais pouvant être

encore largement améliorées puisqu'elles ne consomment encore que 58 % de l'ammonium apporté, nitrate et phosphate étant probablement des facteurs limitant. Les plaines du delta représentent donc des zones tampons potentielles importantes pour les flux d'azote et de phosphore en provenance du bassin amont, et notamment des eaux drainant les bassins agricoles.

Remerciements

25 Daniel Corbin du laboratoire d'analyse du programme « Petits Barrages » au centre IRD de Bouaké (Côte d'Ivoire) est remercié pour la réalisation des analyses, leur critique et leur interprétation. Les relecteurs sont également vivement remerciés. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche Gihrex (IRD) avec la collaboration de la représentation régionale à Mopti de la Direction nationale de l'hydraulique (DNH) et du programme Ressources halieutiques du centre régional de recherches agronomiques de l'IER (Institut d'économie rurale) à Mopti.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Amstrong A. C, Burt T. P., 1993 – "Nitrate losses from agricultural land". *In* Burt T. P., Heathwaite A. L., Trugdill S. T. (éd.) : *Nitrate : processes, patterns and control,* Wiley, UK : 239-267.

Arfi R,, 1998 – *Plaine inondable : atlas hydrobiologique Batamani-01, crue 1997.* Rapports de mission Gihrex, RM8, IRD, Bamako, Mali, 55 p.

Arfi R., 1999 – *Plaine inondable : atlas hydrobiologique Batamani-02, crue 1998.* Rapports mission de Gihrex, RM13, IRD, Bamako, Mali, 35 p.

Arfi R., Bénech V., 1999 – *Changements écologiques induits par la crue dans un lac tropical de la plaine d'inondation du Niger au Mali.* 4e congrès international Limnologie – Océanographie, Bordeaux, 7-10 septembre 1999.

Breman H., Wit C. T. (de), 1983 – Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. *Science,* 221 : 1341-1347.

Brinson M. M., Bradshaw H. D., Kane E. S., 1984 – Nutrient assimilative capacity of an alluvial floodplain swamp. *J. Applied Ecology,* 21 : 1041-1057.

Buerkert A., Hiernaux P., 1998 – Nutrients in the West African sudano-sahelian zone : losses, transfers and role of external inputs. *Zietschrift fur Pflanzenernährung und Bodemkunde,* 161 : 365-383.

Coleman D. C, Crossley D. A.,1996 – *Fundamentals of soil ecology.* USA, Academic Press, 205 p.

Cooper J. R., Gilliam J. W., 1987 – Phosphorus redistribution from cultivated fields into riparian forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 51 : 1600-1604.

Diarra R. A., 1999 – *Cycle géochimique du carbone, de l'azote et du phosphore dans un écosystème inondé : cas de la mare de Batamani.* Mémoires Gihrex, M32, IRD, Bamako, Mali, 100 p.

Dorioz J.-M., Pilleboue E., Fehri A., 1989 – Dynamique du phosphore dans les bassins versants : importance des phénomènes de rétention dans les sédiments. *Water Resources,* 23 : 147-158.

Fardeau J.-C, Dorioz J.-M., 2000 – « La dynamique du phosphore dans les zones humides ». *In* Fustec E., Lefeuvre J.-C. (éd.) : *Fonctions et valeurs des zones humides,* Paris, Dunod : 143-159.

Feller C, Fritsch E., Poss R., Valentin C, 1991 – Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). *Cah. Orstom,* sér. Pédol., 26 (1) : 25-36.

Fustec E., Lefeuvre J.-C. (éd.), 2000 – *Fonctions et valeurs des zones humides.* Paris, Dunod : 435 p.

Gallais J., 1984 – *Hommes du Sahel, espaces-temps et pouvoirs, le delta intérieur du Niger, 1960-1980.* Paris, Flammarion, 289 p.

Haycock N. E., Burt T. P., Goulding K. W. T., Pinay G. (éd.), 1997– *Buffer zones : their processes and potential in water protection.* Quest Environmental publ., 322 p.

Hiernaux P., Bielders C. L., Valentin C, Bationo A., Fernandez-Rivera S., 1999 – Effects of livestock grazing on physical and chemical properties of sandy soils in Sahelian rangelands. *J. Arid Env.,* 41 : 231-245.

Johnston C. A., Dubenzer G. D., Lee G. B., Madison F. W., McHenry J. R., 1984 –Nutrient trapping by sédiment déposition in a seasonally flooded lakeside wetland. *J. Env. Quai.,* 13 : 283-290.

Leeuw P. N. (de), Reynolds L.., Rey B., 1994 – "Nutrient transfers from livestock in West African agricultural Systems". *In : Livestock and sustainable nutrient cycling,* llca : 371-391.

Marieu B., 2000 – Etude *hydrologique de la mare de Batamani.* Etudes et rapports Gihrex, ER46, IRD, Bamako, Mali, 28 p.

Meybeck M., 1982 – Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Am. J. Sci.,* 282 : 401-450.

Mitsch W. J., Gosselink J. G., 1993 – *Wetlands.* New York, Van Nostrand Reinhold Company, 722 p.

Mortimore M., 1991 – *A review of mixed farming Systems in the semi-arid zone of sub-Saharan Africa.* Livestock Economics Division, Working Document 17, Ilca, Addis – Abeba, 181 p.

Orange D., Paget L., Diarra R., Arfi R., Maïga M. S., Poncet Y., 2000 – « Dynamique des concentrations en nutriments dans un écosystème tropical inondable exploité : cas du terroir de Batamani (delta intérieur du Niger, Mali) ». *In : Séminaire sur les ressources en eau de l'Afrique occidentale et centrale,* projets Friend-AOC et ZTH, Yaoundé, Unesco :13 p.

Paget L, 1999 – *Intervention des itinéraires techniques des systèmes d'exploitation sur les flux de nutriments dans un écosystème tropical inondé.* Mémoires Gihrex, M34, IRD, Bamako, Mali, 93 p.

Peterjohn W. T., Correll D. L.., 1984 – Nutrient dynamics in an agricultural watershed : observations on the rôle of a riparian forest. *Ecology,* 65 : 1466-1475.

Piéri C, 1989 – *Fertilité des terres de savanes, bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara.* Montpellier, Cirad/lrat, 444 p.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées : l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

Powell J. M., Valentin C, 1998 – “Effects of livestock on soil fertility in West Africa”. *In : Soil fertility management in West African land use Systems,* Niamey : 319-338.

Rousseau C, 1998 – *Le système de production halieutique du terroir de Batamani (delta intérieur du Niger).* Mémoires Gihrex, M24, IRD, Bamako, Mali, 107 p.

Sterk G., Hermann L.., Bationo A., 1996 – Wind-blown nutrient transport and soil productivity changes in southwest Niger. *Land degradation and development, 7 :* 325-335.

Valentin C, D’herbès J. M., Poesen J., 1999 – Soil and water components of banded vegetation patterns. *In* Valentin C, Poesen J. (éd.) : *The significance of soil, water and landscape processes in banded vegetation patterning,* Catena, 37 (1-2) : 1-24.

NOTES

1. Orange D., ce volume – « Projet Gihrex : ambitions et acquis d’un projet de recherche pour le développement durable du delta intérieur du Niger ». *In : partie 5.*
2. Arfi R., ce volume – « Contrôle environnemental de la productivité planctonique du delta intérieur du Niger ». *In : partie 2.*
3. Macrophyte caractéristique du delta intérieur du Niger, désignant *Echinochloa stagnina* et *Vossia cuspidata.*
4. Date du début de l’inondation généralisée dans la plaine.
5. Arfi R., ce volume – « Contrôle environnemental de la productivité planctonique du delta intérieur du Niger ». *In : partie 2.*

AUTEURS

DIDIER ORANGE

Hydrogéochimiste. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France,

ROBERT ARFI

Hydrobiologiste. IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal,

VINCENT BÉNECH

Hydrobiologiste. IRD, 213 rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France,

MARCEL KUPER

Agronome. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France,

BERTRAND MARIEU

Hydrologue. Maison des Sciences de l’Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France,

IBRAHIM SIDIBÉ

Hydrologue

Contrôle environnemental de la productivité planctonique du delta intérieur du Niger

Robert Arfi

1 Les zones inondables des fleuves tropicaux sont caractérisées par une forte saisonnalité hydrologique (Talling, 1992 ; Lévêque, 1999). Une période de basses-eaux, pendant laquelle le lit mineur du cours d'eau constitue l'essentiel du milieu humide, succède à une période de hautes-eaux, pendant laquelle le fleuve déborde largement du lit mineur, inonde la plaine en alimentant un lit majeur et remplit de nombreux lacs et mares (Lemoalle, 1999). Ces zones inondables sont réputées pour leur forte productivité exploitable, et une relation forte entre les fluctuations annuelles de l'hydrologie et celles des captures est souvent proposée (Welcomme, 1979 et 1986 ; Laë, 1992 ; Quensière, 1994). Pour n'évoquer que certains sites continentaux africains, les plaines d'inondation du Logone et du Chari, englobant celle du Grand Yaéré, la zone lacustre du lac Tchad, les plaines d'inondation de l'Okavango et la zone d'Al Sudd, sur le Nil Blanc, font l'objet de pêches importantes qui atteignent près de 250 000 t par an (FAO, 1998). Cette production de poisson est basée sur un échelon primaire planctonique en eau libre, macrophytique et périphytique dans les plaines inondées.

2 Le phytoplancton, dont l'étude de certains des facteurs de contrôle est abordée dans ce texte, est un élément fondamental du réseau trophique pélagique. Il alimente la chaîne « classique » vers le zooplancton et les consommateurs supérieurs pélagiques.

3 Abondant dans les secteurs d'eau libre, il est la principale source de nourriture des organismes filtreurs, comprenant entre autre les juvéniles de poissons. Une autre composante pélagique est liée à la boucle microbienne, particulièrement favorisée dans ces milieux à forte teneur en matière organique détritique et dissoute, et souvent caractérisés par un faible renouvellement d'eau. Bactéries, ciliés et protozoaires contribuent ainsi à alimenter une chaîne « parallèle », qui aboutit au zooplancton de petite taille. Ces microorganismes représentent probablement une part importante de la ressource trophique dans les zones à macrophytes, où s'accumule les composés organiques propices à leur développement.

4 Dans ces milieux peu profonds, la composante macrophytique est prépondérante dans la frange la moins profonde de ces plans d'eau, du rivage jusqu'à une profondeur de 2,5 m environ. Ces formations végétales peuvent représenter des biomasses considérables mais à ce jour difficilement quantifiables. Une telle couverture végétale constitue un habitat propice à la reproduction et au développement du zooplancton et des jeunes stades de poissons (Lowe– McConnell, 1985), qui trouvent dans ces zones à macrophytes un abri face à la prédation et à l'instabilité hydrodynamique. Ces formations végétales sont aussi des sites favorables à l'alimentation des poissons omnivores benthiques ou benthopélagiques (Paugy et Lévêque, 1999). Elles participent au réseau trophique directement (accumulation de graines, débris, feuilles, etc.) ou indirectement (facilitation de la sédimentation et du piégeage des particules entre les tiges et à l'interface eau– sédiment). En effet, lorsque les microphytes planctoniques traversent des formations végétales, elles peuvent sédimenter, piégées par la structure verticale des bouchons de végétation et par le fort ralentissement des vitesses de courant dans ces zones. Les macrophytes contribuent à l'alimentation des organismes détritivores en renforçant le flux de particules vers le sédiment. Ce flux alimente un compartiment benthique où les microphytes sont peu favorisées du fait d'un environnement où la transparence est très faible (combinaison de la turbidité liée aux particules en suspension et de l'ombrage causé par la densité des tiges) et où l'oxygène dissous présente parfois des concentrations très basses.

5 Enfin, l'épiphytisme primaire ou secondaire est favorisé par le grand nombre de tiges de macrophytes, assurant un développement important des aires propices à la fixation en dépit de la faiblesse du diamètre des tiges individuelles. Traversant verticalement la colonne d'eau, ces tiges supportent une grande variété d'épiphytes végétaux et animaux qui contribuent à l'alimentation de nombreux juvéniles. Par sa structure, cette formation végétale concurrence directement les peuplements phytoplanctoniques pour l'accès à la lumière et aux ressources nutritives (Denny, 1985).

6 En tant que zone inondable, le delta intérieur du Niger est le plus souvent assimilé à un système fortement productif. En fonction des années et de l'intensité de la crue, les débarquements de poissons varient entre 50 000 et 100 000 t (Laë, 1995). Cette plaine d'inondation, largement occupée par les formations de macrophytes en hautes-eaux et au début de la décrue, présente toutefois la particularité de comprendre une composante lacustre importante. Les grands lacs centraux sont des sites de superficie variable en fonction de la saison et de l'importance de la crue de l'année, qu'ils soient permanents comme les lacs Débo et Korientzé ou temporaires. Certains lacs périphériques de rive droite (Aougoundou et Nyangaye) et de rive gauche (Tanda, Kabara et Fati) peuvent également présenter des superficies importantes à la fin de la crue. D'autres grands lacs périphériques, en eau dans les années 50, ne sont plus remplis qu'exceptionnellement (Do, Garou) ou partiellement (Faguibine). Enfin, deux sites sont en voie de poldérisation artificielle (lac Oro) ou naturelle (lac Télé).

7 La plaine d'inondation du Niger comprend aussi des sites de plus petite taille, dénommés « mares ». Ces plans d'eau, temporaires ou permanents, correspondent à des dépressions de plusieurs centaines d'hectares ou à des bras du réseau fluvial, anciens ou actifs (les *mayos,* en langue vernaculaire), isolés par des seuils en saison sèche. Il est difficile d'estimer la superficie de ces zones lentiques, qui peuvent être en partie occupées par des macrophytes (bourgoutière, orizaie et vétiveraie). Lorsque la profondeur dépasse 2,5 m, ces mares présentent également de vastes plans d'eau libre. Dans ces zones plus

profondes, le phytoplancton peut se développer et constituer une part importante de la biomasse primaire transférable au sein du réseau trophique jusqu'aux niveaux exploitables. Ainsi cette biomasse phytoplanctonique peut être transférée directement aux organismes filtreurs pélagiques dans les zones d'eau libre, aux organismes détritivores benthiques ou bentho-pélagiques après sédimentation et aux organismes brouteurs après épiphytisme, lorsque certaines espèces d'algues se fixent sur des macrophytes.

8 Jusqu'à la fin des années 90, on ne disposait d'aucune estimation quantitative de la composante planctonique dans les différents types de milieux aquatiques de la plaine d'inondation du Niger. A partir de la relation classique liant la pêche d'une année à la superficie inondée les années précédentes, et donc, à la production primaire permise par l'inondation et transférée jusqu'au poisson au sein du réseau trophique pélagique, on déduisait que si le milieu était particulièrement productif du point de vue des poissons, il devait l'être également pour l'échelon primaire, tous types de communautés confondus (Quensière *et al.*, 1994). Enfin, on supposait que cette forte productivité primaire déduite des seules pêches – et probablement à revoir à la hausse si on y ajoute les captures de poissons par les oiseaux piscivores – devait correspondre à une grande richesse nutritive initiée par la crue annuelle du fleuve. Mais dans ce cas également, faute de précision analytique suffisante, les concentrations en éléments nutritifs des eaux du réseau fluvial n'étaient pas connues (Gourcy, 1994 ; Picouet, 1999). Plusieurs campagnes hydrobiologiques, conduites entre 1997 et 2000 dans plusieurs types de milieux de la plaine d'inondation du Niger – dans le cadre du projet de recherche Gihrex de l'IRD –, ont permis d'acquérir les premières données sur l'environnement nutritif et les biomasses phytoplanctoniques. Les résultats présentés dans ce texte concernent le contrôle environnemental du phytoplancton.

Matériels et méthodes

9 La zone fluviale entre Ké-Macina et Tombouctou a été échantillonnée en novembre 1997 (hautes-eaux, 34 prélèvements) et en avril 1998 (basses-eaux, 25 prélèvements). Des prélèvements ont concerné les lacs périphériques en novembre 1999 (basses-eaux, 29 échantillons) et en janvier 2000 (après leur remplissage, 44 échantillons). Puis des mares du Kotia ont été échantillonnées en mai 1999 (basses-eaux, 43 prélèvements), tandis que la mare de Batamani située à 40 km au NO de Mopti faisait l'objet d'une étude en octobre et novembre 1997 (hautes-eaux, 31 prélèvements). La position des stations (fig. 1) était relevée à l'aide d'un GPS, et leur profondeur mesurée au moyen d'un sondeur.

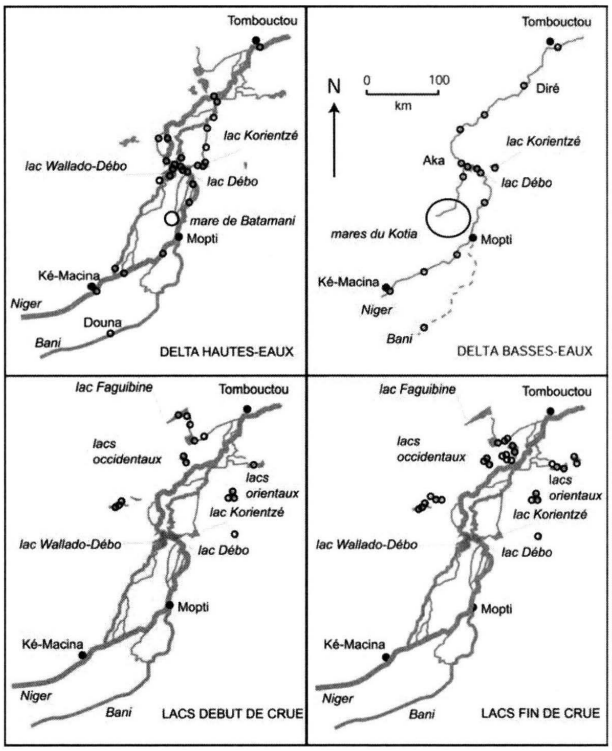


Figure 1. Position des stations échantillonnées au cours des différentes campagnes dans le delta intérieur du Niger.

10 Parmi les variables étudiées selon les méthodes décrites par Strickland et Parsons (1968), seuls la profondeur de disparition du disque de Secchi, des descripteurs hydrochimiques et la biomasse chlorophyllienne sont retenus pour le présent article. Les prélèvements étaient réalisés à 50 cm sous la surface et à 50 cm au– dessus du fond au moyen d'une pompe péristaltique. La conductivité était mesurée immédiatement au moyen d'un conductimètre HI 9033 et corrigée pour une température de 25 °C.

11 Après filtration sur membrane GF/F (porosité 0,7 µm environ), les échantillons destinés au dosage des éléments nutritifs étaient empoisonnés au $HgCl_2$ puis conservés à l'obscurité et stockés au réfrigérateur dès que possible. Au laboratoire, les concentrations en orthophosphates et en ammoniaque ont été mesurées sur un spectrophotomètre (méthode manuelle). Les nitrites et les nitrates ont été dosés sur auto-analyseur Technicon. La mesure des concentrations en chlorophylle *a* était réalisée sur le matériel particulaire retenu sur les filtres GF/F congelés dans l'azote liquide et transportés au laboratoire ; après extraction au méthanol, l'analyse était faite sur un fluorimètre Turner Designs AU-10.

12 A partir des concentrations en orthophosphates et en chlorophylle *a*, des indices de statut trophique de Carlson (1977) ont été calculés. Bien que discutés car basés sur des caractéristiques de lacs tempérés, ces indices permettent de classifier globalement les sites étudiés en fonction de leur richesse ou plutôt de leur potentialité nutritive. Ainsi un indice compris entre 50 et 65 correspond à un milieu que l'on peut qualifier d'eutrophe, et un indice compris entre 65 et 80 correspond à un milieu que l'on peut qualifier d'hyper-eutrophe. Lorsque les indices dépassent 80, le milieu est considéré comme dystrophe. Ces valeurs ne sont toutefois que des limites indicatives.

Résultats et discussion

13 Du point de vue du système pélagique, on peut globalement répartir les milieux aquatiques du delta en trois catégories :

- *le fleuve, ses affluents et ses défluents* forment un réseau lotique en interconnexion. Ce réseau assure le transport et l'acheminement des éléments nutritifs dans les zones lentiques de la plaine d'inondation pendant la phase de montée des eaux et pendant la crue. En phase de décrue, il permet aussi la vidange de ces milieux et donc l'exportation d'une partie de ces apports. Ces sites lotiques incluent également certains lacs comme le Débo et le Walado–Débo, qui occupent des dépressions et permettent l'élargissement du lit majeur du Niger et du Diaka, respectivement :
- *les lacs périphériques*, de rive droite et de rive gauche, constituent des entités nettement individualisées qui se remplissent lors de crue et se vident partiellement lors de la décrue ; dans les deux situations, l'existence et la hauteur de seuils répartis le long du bras d'alimentation et, le cas échéant dans le lac, constituent autant d'éléments qui régulent les vitesses de remplissage et de vidange ;
- *les mares*, enfin, plus ou moins vastes et profondes, pérennes ou temporaires, se comportent comme les lacs évoqués ci-dessus mais avec une réactivité bien plus forte en raison de leur plus petite taille. Leur mise en eau se fera d'autant plus rapidement qu'elles seront proches d'un bras important du réseau fluvial. Leur pérennité en fin de saison sèche dépend essentiellement de la présence d'un seuil, qui permet de retenir à la décrue un volume d'eau suffisant pour contrebalancer l'évaporation.

14 Le tableau 1 présente les gammes de variation des variables mesurées dans ces trois types de sites du delta, en situation de hautes-eaux et en situation de basses-eaux.

Des conductivités peu élevées

15 Dans la grande majorité des cas, les conductivités sont comprises entre 30 et 200 µS cm^{-1}.

16 Les eaux du *fleuve* ont une conductivité faible et peu variable (fig. 2a), entre 30 et 80 µS cm^{-1} et augmentant progressivement du sud du delta vers le nord (médiane à 42 µS cm^{-1}). Elles sont un peu plus élevées en période de basses-eaux (médiane à 63 µS cm^{-1}) du fait de la forte évaporation.

17 Les *mares* présentent des conductivités en période de hautes-eaux, après leur remplissage, très proches de celles des eaux du fleuve (médiane à 43 µS cm^{-1}). Lorsque les mares sont permanentes, les eaux résiduelles qui y sont présentes en fin de saison sèche sont rapidement diluées par l'eau de crue envahissante. En situation de basses-eaux, les conductivités sont plus élevées dans ces sites isolés du réseau fluvial (médiane à 112 µS cm^{-1}) en raison de l'intensité de l'évaporation en saison sèche.

18 Les *lacs* de grande taille peuvent garder un volume résiduel important en fin d'étiage. C'est pourquoi après le remplissage des grands sites lacustres, l'eau de mélange y présente des conductivités un peu plus élevées que celles du réseau fluvial et des mares (médiane à 58 µS cm^{-1}). En situation de basses-eaux, ces grands lacs peuvent présenter des conductivités supérieures à la centaine de µS cm^{-1}, mais la gamme de variation reflète la diversité des situations que l'on peut y rencontrer et la médiane est plus élevée (77 µS cm^{-1}).

Tableau 1. Gammes de variation présentées par quelques variables hydrochimiques dans différents sites du delta intérieur du Niger. HE : hautes-eaux ; BE : basses-eaux.

	Gamme HE	Médiane HE	Gamme BE	Médiane BE
Conductivité (µS cm^{-1} l)				
Fleuve	30 - 66	42	39 - 88	63
Lacs	39 - 153	58	36 - 386	77
Mares	34 - 52	43	52 - 554	112
Secchi (cm)				
Fleuve	17 - 167	81	28 - 110	48
Lacs	15 - 190	70	1 - 120	36
Mares	60 - 153	80	4 - 55	17
$P\text{-}PO_4$ (µg l^{-1})				
Fleuve	4 - 44	7	0 - 38	13
Lacs	4 - 60	10	1 - 65	6
Mares	1 - 28	7	1 - 45	7
$N\text{-}NH_4$ (µg l^{-1})				
Fleuve	80 - 393	298	0 - 114	3
Lacs	0 - 431	95	3 - 96	68
Mares	24 - 150	81	2 - 182	60
$N\text{-}NO_3$ (µg l^{-1})				
Fleuve	61 - 628	391	15 - 87	40
Lacs	3 - 432	20	0 - 270	13
Mares	0 - 139	48	1 - 713	15
Somme NID (µg l^{-1})				
Fleuve	388 - 951	723	16 - 147	56
Lacs	25 - 773	112	49 - 361	78
Mares	24 - 818	136	38 - 760	94
Chl a (µg l^{-1})				
Fleuve	2,4 - 7,6	5,0	3,5 - 10	5,5
Lacs	2,7 – 24	7,2	1,9 - 231	15,2
Mares	0,6 - 23,7	2,4	12,3 - 493	36,6

Des eaux turbides

19 Les eaux des différents milieux de la plaine d'inondation du Niger sont plutôt turbides et le disque de Secchi disparaît parfois dès les premiers centimètres (fig. 2b). Toutes données confondues, une régression exponentielle entre les coefficients d'atténuation lumineuse (k en m^{-1}) et les profondeurs de disparition du disque de Secchi (Z_s en m) fournit un ajustement très hautement significatif ($k = 1,14 + 9,58e^{-3,59*Zs}$ avec r = 0,989 et n = 56). Dans le delta, la relation entre k et Z_s peut également être exprimée sous la forme $Z_s = 1,47/k$.

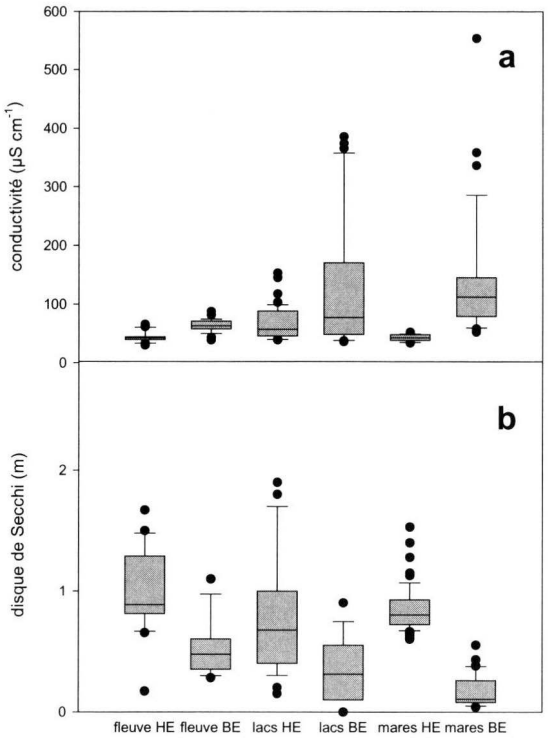


Figure 2. Distribution des valeurs de conductivité (a) et des profondeurs de disparition du disque de Secchi (b) : médiane et quantiles (25 et 50 % dans la boite grisée, 10 et 90 % aux extrémités du trait) et valeurs extrêmes. HE : hautes-eaux ; BE : basses-eaux.

20 En période de hautes-eaux, le fleuve présente une large gamme de variation pour les profondeurs de disparition du disque de Secchi : les zones à fort hydrodynamisme (d'origine fluviale, éolien ou résultant d'une combinaison des deux facteurs) sont plus turbides que les zones plus calmes, et la médiane demeure donc relativement élevée (0,81 m). Il en va de même pour les sites lentiques, où la profondeur joue un rôle essentiel quant aux effets de la resuspension d'origine éolienne. Ainsi certaines zones lacustres, probablement peu profondes ou plus sensibles aux effets du fetch en raison de leur orientation, peuvent être très turbides (valeurs de Secchi comprises entre 0,15 et 0,20 m), tandis que d'autres auront une transparence plus forte (de 1,50 à 1,90 m). Dans les lacs et les mares, les médianes sont respectivement de 0,70 et 0,80 m, et reflètent une turbidité plutôt modérée pour ce type de milieu et pour cette situation hydrologique.

21 La situation est différente pendant les basses-eaux avec une turbidité forte (fleuve) à très forte (mares) et des médianes respectives pour les valeurs de Secchi de 0,48 et 0,17 m. Dans certains sites très peu profonds, le disque disparaît dès les premiers cm, même si dans plusieurs cas le disque était toujours visible alors qu'il touchait le fond situé à quelques décimètres de la surface.

Des eaux pauvres en orthophosphates et en azote inorganique dissous après la crue

22 La crue est le vecteur de l'enrichissement nutritif des différents types de milieux aquatiques que l'on rencontre dans le delta, et la saisonnalité de ce processus d'enrichissement apparaît nettement dans l'évolution des concentrations. Toutefois, on peut distinguer les apports immédiats liés à la crue proprement dite, apports allochtones

ou « nouveaux », des apports liés à la remise en eau des plaines d'inondation, apports autochtones ou « de régénération ». Les plaines sont en effet jonchées de détritus organiques (parmi ceux ci, les restes de macrophytes et surtout les bouses de bovins représentent probablement des biomasses considérables) qui vont être progressivement dégradés et minéralisés une fois le système en eau.

23 Les gammes de teneurs en P-PO4 relevées dans le réseau fluvial, les lacs et les mares sont peu différentes en hautes-eaux et en basses-eaux (fig. 3a). Les concentrations sont rarement élevées, même en période de crue. La plupart des valeurs sont comprises entre 1 et 20 µg l^{-1}, mais peuvent parfois dépasser les 40 µg l^{-1}. Il s'agit alors de prélèvements faits en situations particulières, comme par exemple, en saison de crue, de chenaux très isolés ou très distants du réseau fluvial principal, et donc drainant des zones en cours d'inondation.

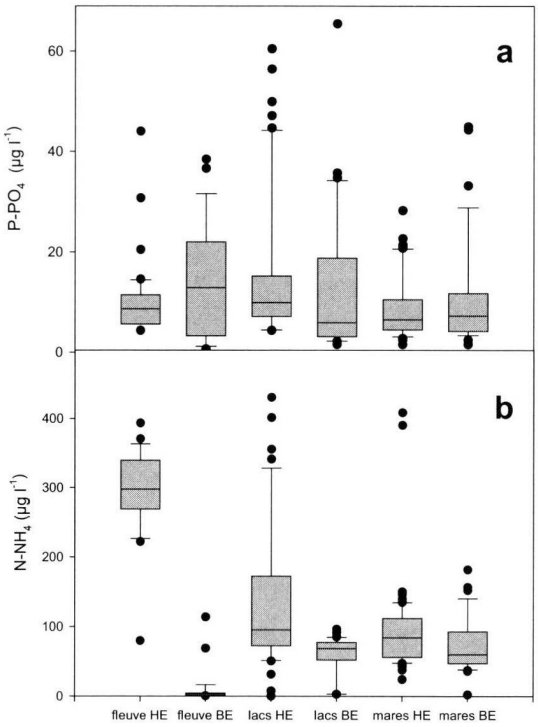


Figure 3. Distribution des concentrations en P-PO_4 (a) et en N-NH_4 (b) : médiane et quantiles (25 et 50 % dans la boite grisée, 10 et 90 % aux extrémités du trait) et valeurs extrêmes. HE : hautes-eaux ; BE : basses-eaux.

24 En étiage, ces fortes concentrations s'observent dans des parties temporairement isolées du réseau fluvial, comme par exemple dans des biefs du Diaka ou dans des chenaux de la région du Kotia ou du Walado-Débo, asséchés à partir du mois de mai. Les valeurs médianes dans les différents sites du delta intérieur du Niger sont du même ordre de grandeur que les concentrations relevées dans la plaine d'inondation de l'Amazone. Elles sont également comparables à ce qui est rapporté pour d'autres sites fluviaux ou lacustres africains non pollués. Par contre, elles sont très inférieures à ce qui est mesuré dans des fleuves pollués d'Europe (tableau 2), où les valeurs dépassent de loin 100 µg l^{-1}.

Tableau 2. Gamme de variation pour des variables hydrochimiques en différents sites inondables (moyenne ou médiane entre parenthèses). Nd : non disponible.

Sites, dates	$P\text{-}PO_4$ ($\mu g\ l^{-1}$)	$N\text{-}NH_4$ ($\mu g\ l^{-1}$)	$N\text{-}NO_3$ ($\mu g\ l^{-1}$)	Chl ($\mu g\ l^{-1}$)	Références
Delta intérieur du Niger,1997-2000	0 - 65 (9)	0 - 393 (73)	0 - 270 (40)	1 - 493 (6)	Cet article
Réservoirs Burkina Faso, 1989-1991	0 – 496	Nd	0 - 1960	3 – 20	Baijot *et al.* (1994)
49 réservoirs Côte d'Ivoire, 1997	0 – 244 (28)	30 - 694 (49)	0 - 252 (20)	6 - 1790 (160)	Arfi *et al.* (2001)
Nambengué (Côte d'Ivoire), 2000	3 - 7 (5)	8 - 169 (60)	3 - 28 (5)	17 - 86 (41)	Corbin (2000)
Brobo (Côte d'Ivoire), 2000	3 - 20 (10)	44 - 602 (102)	3 - 10 (6)	10 - 30 (25)	Corbin (2000)
Fleuve Gambie, 1987	0 – 19 (3)	Nd	0 – 84 (13)	0,1 – 1,5 (0,8)	Healey *et al.* (1988)
Lac Volta, 1989	0 – 248 (3)	Nd	14 – 980 (49)	Nd	Antwi (1990)
Lac Tchad, 1968-1973	0 – 118	Nd	0 – 39	5 – 70	Carmouze *et al.* (1983)
Rio Negro (Brésil) 1966-1968	3 – 9 (6)	17 – 784 (38)	15 – 53 (34)	0,1 – 16	Furch et Junk (1997)
Rio Solimoes (Brésil), 1980-1981	9 – 47 (25)	4 – 155 (42)	8 – 206 (108)	Nd	Furch et Junk (1997)
39 réservoirs Brésil, Pernambouc,1998	0 – 239 (3)	0 – 829 (38)	0 – 722 (24)	3 – 221 (35)	Bouvy *et al.* (2000)
Saône (France), 1989-1991	0 – 1000 (300)	0 – 16000 (315)	0 – 1800 (995)	Nd	Agence de l'eau RMC (1999)
Rhône (France), 1989-1991	0 - 800 (160)	0 – 16000 (325)	0 – 1400 (565)	Nd	Agence de l'eau RMC (1999)
Lac Leman, 1996-1997	0 – 31	1 – 68	100 – 650	7 – 216 (47)	Cipel (1997)

25 Les concentrations en ammoniaque en période de hautes-eaux dans le fleuve sont souvent élevées, avec une valeur médiane de 298 $\mu g\ l^{-1}$. Elles se distinguent très nettement de la gamme de concentrations mesurées en basses-eaux (fig. 3b) : dans cette situation hydrologique, la valeur médiane est particulièrement faible (3 $\mu g\ l^{-1}$). Dans les mares et les lacs, les gammes sont moins étendues, mais les médianes sont peu différentes. Les fortes concentrations mesurées lors de la crue peuvent correspondre au lessivage et au drainage de zones asséchées pendant l'étiage, où de nombreux composés organiques s'accumulent. Lors de la montée des eaux, résidus végétaux et bouses des très nombreuses têtes de bétail qui fréquentaient le lit mineur pendant l'étiage sont entraînés dans le réseau fluvial, où leur dégradation peut se dérouler relativement rapidement. Dans un contexte hydrodynamique peu favorable à la productivité primaire et donc à la consommation d'azote minéral, l'ammoniaque s'accumule dans la colonne d'eau (Orange *et al.*, ce volume)[1]. Par contre en basses-eaux, ce composé participe à la production primaire, et sa concentration dans les différents milieux va donc fortement diminuer. Les valeurs mesurées dans le système fluvial Niger sont caractéristiques des eaux naturelles, et sont donc très inférieures à ce qui peut être observé dans certains cours d'eau européens (tableau 2).

26 Si les gammes de concentration en nitrates sont relativement étendues dans la plupart des milieux étudiés (fig. 4a), les valeurs médianes sont plutôt basses, à l'exception toutefois du fleuve en hautes-eaux (391 $\mu g\ l^{-1}$). Quelle que soit la saison, ce composé était même quasiment épuisé dans certains sites lacustres et dans de nombreuses mares. Les valeurs médianes dans ces sites étaient comprises entre 15 et 48 $\mu g\ l^{-1}$. On se retrouve donc dans une situation comparable à celle de l'ammoniaque, avec des concentrations fortes en période de crue (sous l'effet combiné du drainage régional et du lessivage local)

et faibles en étiage à la fois en raison de l'arrêt des apports fluviaux et en relation avec l'assimilation par l'échelon primaire.

27 La distribution des valeurs de la somme des composés azotés dissous (nitrites + nitrates + ammoniaque) illustre l'importance des apports azotés par le fleuve pendant la période de crue (fig. 4b), la gamme de valeurs dans le système fluvial s'étendant de 388 à 951 µg l^{-1} avec une valeur médiane de 723 µg l^{-1}. Par contre, les eaux du fleuve sont treize fois moins chargées en azote inorganique dissous en période de basses-eaux (56 µg l^{-1}). Dans les sites lacustres, on observe des concentrations élevées en hautes– eaux comme en basses-eaux, mais les médianes des prélèvements (112 µg l^{-1} et 78 µg l^{-1} respectivement) reflètent une situation de relative pauvreté en azote inorganique dissous dans les lacs.

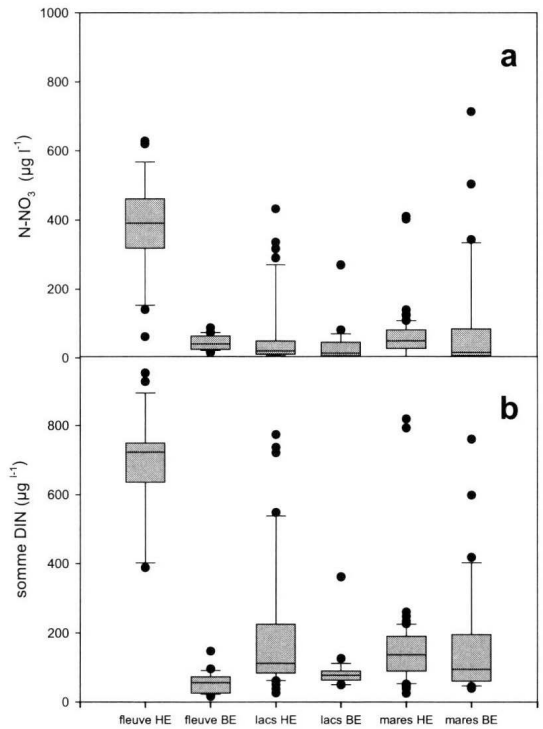


Figure 4. Distribution des concentrations en $N\text{-}NO_3$ (a) et en azote inorganique dissous (b) : médiane et quantiles (25 et 50 % dans la boite grisée, 10 et 90 % aux extrémités du trait) et valeurs extrêmes. HE : hautes-eaux ; BE : basses-eaux.

28 La période de crue, allant d'août à fin octobre, permet donc le transport d'une eau relativement enrichie en éléments nutritifs azotés, mais plutôt pauvre en orthophosphates. Le transfert de ces nutriments à la plaine inondée et leur distribution dans les milieux connectés se fait progressivement, en fonction de l'éloignement des axes fluviaux principaux. Les potentialités nutritives des différents milieux du delta à un moment donné seront donc très contrastées. Pendant la période d'étiage, allant de fin janvier à juin, les débits sont beaucoup plus faibles. La charge nutritive est alors peu élevée, sauf dans certains milieux isolés où l'augmentation progressive de la turbidité va rapidement limiter la production primaire et permettre le maintien de concentrations toujours fortes. Le fleuve transporte le plus souvent une eau fortement limitée en phosphore, puisque le rapport N/P est généralement très supérieur à 16 (fig. 5a).

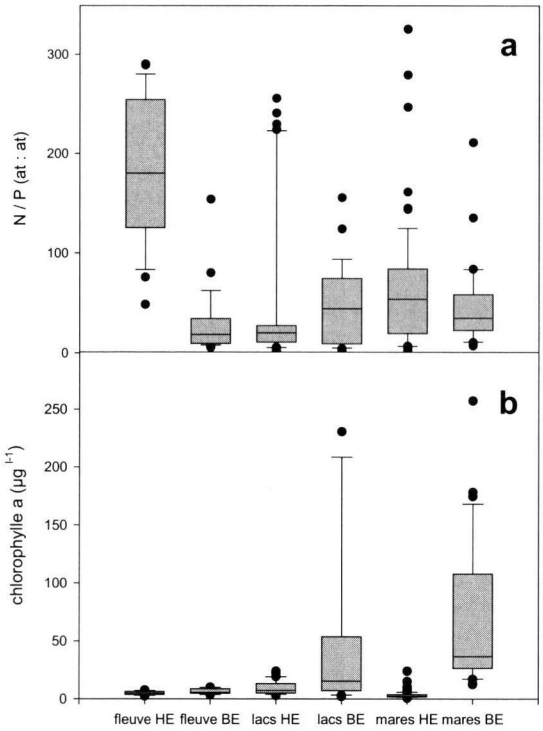


Figure 5. Distribution du rapport [azote inorganique dissous / $P\text{-}PO_4$] (a) et de la concentration en chlorophylle a (b) : médiane et quantiles (25 et 50 % dans la boite grisée, 10 et 90 % aux extrémités du trait) et valeurs extrêmes. HE : hautes-eaux ; BE : basses-eaux.

Des biomasses phytoplanctoniques et des indices trophiques fortement variables

29 Comme on pouvait le penser en étudiant un système combinant milieux lentiques et milieux lotiques, c'est dans les sites fermés ou semi-fermés comme les mares et les lacs que les concentrations en chlorophylle *a* sont les plus élevées, en particulier en période de basses-eaux. Les valeurs médianes sont respectivement 36,6 et 15,2 µg l^{-1}, alors qu'elles sont 2,4 et 7,2 µg l^{-1} en période de hautes-eaux (fig. 5b).

30 Certains sites lentiques présentent des concentrations très élevées, supérieures à 100 µg l^{-1}. Ces fortes valeurs correspondent parfois à des efflorescences de cyanobactéries. Dans le réseau fluvial, les gammes de variation et les valeurs médianes correspondant aux deux saisons hydrologiques sont tout à fait comparables. Elles reflètent des concentrations en chlorophylle *a* non négligeables, puisque comprises entre 2 et 10 µg l^{-1}. Toutefois cette biomasse présente globalement une très forte variabilité spatiale. Ainsi le réseau fluvial semble être constitué par une juxtaposition de milieux indépendants, de biefs qui certes sont connectés et communiquent mais présentent un continuum peu marqué.

31 En utilisant les indices trophiques en tant qu'indicateurs instantanés ou saisonniers, la plupart des milieux en situation de crue peuvent être qualifiés de mésotrophes ou modérément riches. On remarque toujours l'opposition marquée entre milieux lotiques et

milieux lentiques, et en situation de hautes-eaux, les lacs centraux ne se différencient pas du réseau fluvial, à la différence des lacs périphériques :

- en étiage, si les sites fluviaux sont toujours mésotrophes (voire parfois oligotrophes), les sites isolés montrent une richesse plus marquée et peuvent être qualifiés d'eutrophes ou d'hyper– eutrophes, qu'ils soient de petite taille (comme les mares) ou de grande taille (comme le lac Korientzé) ;
- en situation de crue, le temps de résidence des eaux est très réduit, et les lacs Débo, Korientzé et Walado-Débo sont traversés par un flux d'eau important. Même les sites de la plaine inondée présentent un fort renouvellement de leurs eaux, aussi bien en phase de montée des eaux (du lit mineur vers le lit majeur ou les plaines d'inondation) qu'à la décrue (des plaines inondées vers le fleuve). Ce n'est que lorsque les mouvements d'eau sont très ralentis par une différence de niveau qui s'amenuise rapidement ou lorsque ces milieux sont isolés du système fluvial que le temps de séjour de l'eau dans un site donné augmente considérablement, ce qui permet aux processus de minéralisation et de recyclage de se développer. Cette situation de confinement, qui peut même s'appliquer à des sites de grande taille comme le lac Korientzé, peut autoriser une forte productivité primaire bien que les conditions d'éclairement de la colonne d'eau soient peu favorables. Dans ces milieux où la profondeur n'excède pas quelques décimètres et où l'hydrodynamisme induit par le vent est efficace, ce paradoxe pourrait s'expliquer par la proximité de l'interface eau-sédiment et de la couche euphotique, ce qui assure un enrichissement nutritif régulier des tous premiers décimètres de la colonne d'eau, là où l'éclairement n'est pas limitant. La biomasse phytoplanctonique ainsi produite est ensuite distribuée dans toute la colonne d'eau pour aboutir, de manière pérenne ou temporaire, à l'interface eau-sédiment.

32 Si l'on considère les indices trophiques en tant qu'indicateurs globaux, il faut tenir compte des situations les plus défavorables. Les sites fluviaux du delta intérieur du Niger doivent alors être considérés comme plutôt mésotrophes, tandis que les sites isolés sont de type eutrophe, voire hyper-eutrophe.

Paradoxe liant biomasses phytoplanctoniques et conditions environnementales

33 On est donc en présence d'une contradiction : en situation de crue, les apports nutritifs sont importants mais les biomasses phytoplanctoniques sont plutôt faibles, même en milieu lentique, alors qu'en situation d'étiage, avec une turbidité souvent forte et des potentialités nutritives en apparence moins marquées, les biomasses algales sont élevées. Comment expliquer ce paradoxe ?

34 Pour se développer, les producteurs primaires, planctoniques ou fixés, ont besoin d'éléments nutritifs et de lumière :

- bien que la ressource nutritive, qu'elle soit d'origine exogène ou recyclée localement, semble rarement limitante dans le système du delta intérieur du Niger (au moins en terme d'azote), l'accès aux nutriments sera d'autant plus aisé que le site est peu profond, facilitant les échanges entre la couche où se produit la minéralisation et la couche où se produit la production primaire qui doit nécessairement être éclairée ;
- l'accès à la lumière sera différent pour les macrophytes selon qu'ils sont immergés ou émergés. Lorsque leur appareil végétatif est émergé (il s'agit alors d'hélophytes, c'est le cas du bourgou dans les plaines d'inondation), la lumière n'est pas limitante. Les organismes périphytiques peuvent optimiser leur accès à l'énergie lumineuse, dans la mesure où la

variation de la hauteur d'eau n'est pas trop rapide. Il n'en va pas de même pour le phytoplancton, dont l'accès à la lumière va dépendre de la turbidité du milieu. Cette turbidité sera d'autant plus forte que les particules minérales et détritiques en suspension dans l'eau seront nombreuses. Elle dépendra aussi de l'auto-ombrage du phytoplancton, en particulier en cas d'efflorescence dans les couches d'eau superficielles.

35 La chronologie du cycle hydrologique, combinée avec des caractéristiques morphologiques et climatologiques locales, va en fait contrôler l'accès des producteurs primaires à la ressource nutritive comme à la ressource énergétique :

- *au cours des premières semaines d'août, au début de la crue et en situation de faible profondeur*, les apports nutritifs exogènes sont très importants. Les nutriments, et en particulier les composés azotés, ne sont donc pas limitants, mais la turbidité est très forte. Le système est alors limité par la lumière, et la production phytoplanctonique est très faible. Par contre, les hélophytes profitent de l'enrichissement du milieu pour accroître rapidement leur biomasse, dans la mesure où ils puisent les éléments nutritifs qui leurs sont nécessaires à la fois dans l'eau (grâce à leurs racines adventices, très développées chez certaines espèces) et dans le sol, grâce à leur système racinaire primaire qui sert à leur ancrage ;
- *entre septembre et novembre, à mesure que le niveau monte*, l'eau du fleuve est moins chargée en matériel particulaire. Les conditions hydrodynamiques permettent la sédimentation des particules amenées par la crue, et la transparence augmente progressivement. En novembre, en situation de hautes-eaux, ni les nutriments ni la lumière ne sont limitants. C'est à cette période que de fortes biomasses chlorophylliennes peuvent être observées, en particulier dans les sites lacustres. Les macrophytes occupent alors la plupart des zones où la profondeur est inférieure à 2,5 m environ, concurrençant fortement le phytoplancton pour l'utilisation des éléments nutritifs ;
- *à la fin de la montée des eaux, en décembre*, les journées sont encore chaudes, mais les nuits peuvent être froides : ce différentiel de température favorise l'installation transitoire d'une stratification verticale de densité. Or, les apports nutritifs exogènes sont plus faibles en cette phase d'étale de crue, et les nutriments peuvent être temporairement épuisés dans la couche euphotique, même s'ils abondent à proximité du fond. En effet l'absence de mélange vertical, rendu plus difficile à la fois par la hauteur d'eau encore importante et la stratification de densité, ne facilite pas la réalimentation de la couche productive à mesure que les éléments nutritifs y sont consommés. Les nutriments deviennent alors limitants pour la productivité phytoplanctonique mais pas pour les macrophytes, qui peuvent s'alimenter dans le sédiment et dans la couche d'eau proche du fond ;
- *en décrue*, c'est la plaine qui alimente le réseau fluvial et, à mesure que l'épaisseur de la colonne d'eau diminue, tant en raison des sorties d'eau que de l'évaporation, les effets du vent sur les processus de mélange deviennent plus intenses. En janvier et février, en période d'harmattan, la stratification verticale disparaît, ce processus étant favorisé par des épisodes de vents forts. La couche euphotique peut alors être périodiquement réalimentée en éléments nutritifs, et des situations non limitantes, ni en lumière ni en éléments nutritifs alternent alors rapidement avec des situations où la lumière et les nutriments sont simultanément limitants. Au cours de cette période, de fortes biomasses phytoplanctoniques ont été observées ;
- *à partir de mars*, la combinaison d'une faible hauteur d'eau et de la disparition définitive de la stratification permet un mélange vertical permanent. Cette situation est très favorable au phytoplancton du point de vue des éléments nutritifs, mais la faiblesse de la hauteur d'eau favorise la resuspension des sédiments et donc l'augmentation de la turbidité. Cette resuspension est induite par le vent, mais aussi par le piétinement des berges d'un nombre

croissant de têtes de bétail qui viennent s'abreuver. L'action des pêcheurs, qui cheminent et pêchent dans les zones peu profondes à l'occasion des pêches d'épuisement, contribue également à la resuspension des particules. Cette forte turbidité induit rapidement une limitation de la production primaire phytoplanctonique par la lumière. Les macrophytes (et les épiphytes associées) ne représentent plus qu'une faible biomasse en raison de l'exondation et de la récolte du riz ou du bourgou. Si les zones lentiques restent très défavorables au phytoplancton, certaines d'entre elles peuvent se transformer en milieux presque exclusivement peuplés de cyanobactéries, organismes qui supportent à la fois une situation de type eutrophe, les températures parfois très élevées qui y règnent et les conditions de faible éclairement que l'on y rencontre. Dans de nombreux sites, on observe également des pullulations de méduses, probablement du genre *Limnocnida.*

36 Cette chronologie peut ne pas être en phase avec la demande trophique des consommateurs supérieurs, et en particulier des jeunes poissons, qui voient l'essentiel de leurs phases juvéniles se développer dans la plaine d'inondation, juste après la crue. La productivité primaire phytoplanctonique, somme toute modérée de ces milieux à cette période du cycle hydrologique, peut constituer une limite à la productivité des consommateurs. Si de nombreuses espèces de poissons ont un régime phytophage (au moins pendant le début de leur croissance), on connaît peu le zooplancton local (Dumont *et al.*, 1981 ; Dumont, 1986) et son efficacité dans les transferts trophiques.

37 Dans ces milieux peu profonds, la combinaison profondeur et vent joue un rôle déterminant dans le piégeage ou la mobilisation des particules. On peut ainsi avoir transitoirement une hauteur d'eau optimale permettant à la fois l'existence de zones profondes favorables au phytoplancton et de zones à macrophytes constituant des sites de piégeage et de véritables « usines à minéralisation ». Dans ces conditions, seul le mélange vertical permet d'assurer la redistribution des éléments nutritifs de la couche profonde vers la couche euphotique, là où ils sont indispensables à la productivité phytoplanctonique.

38 Dans les plaines d'inondation en situation de hautes-eaux, l'extrême importance que revêtent les macrophytes en général et les bourgoutières en particulier a un rôle déterminant dans la circulation des masses d'eau comme dans le piégeage des particules. Dans ces milieux complexes, la production du phytoplancton et son accessibilité trophique vont donc dépendre des conditions morphologiques, climatiques et environnementales et de leur combinaison au sein de véritables « fenêtres » écologiques. Plus tard dans le cycle hydrologique, les macrophytes et les épiphytes qui leur sont inféodés voient leur biomasses décroître rapidement en saison d'étiage, à la fois pour des raisons naturelles (exondation progressive de la plaine d'inondation) et artificielles (récolte du bourgou pour l'alimentation du bétail). Mais à ce moment, les surfaces en eau sont très réduites, et la plupart des poissons sont réfugiés dans les zones profondes des systèmes fluviaux et lacustres.

Conclusion

39 Les premières données hydrobiologiques fournissant une information sur les ressources nutritives minérales et sur les biomasses phytoplanctoniques dans les différents types de milieux du delta intérieur du Niger sont aujourd'hui disponibles. Elles ne reflètent pas la grande richesse trophique supposée et montrent surtout l'importance des facteurs environnementaux dans la régulation de la production primaire planctonique.

40 Par contre, elles permettent de mieux comprendre la dominance des hélophytes, plus à même de tirer parti des importantes ressources nutritives apportées au delta par la crue et assurant en outre une fonction de piège à particules. Bien que non déterminée, l'importance des épiphytes dans le système est probablement grande en raison des surfaces offertes propices à la fixation de ces organismes.

41 Dans la colonne d'eau en zone inondée, les producteurs « primaires » associent, outre le phytoplancton, des bactéries, des ciliés et des flagellés, mais aussi des épiphytes. Ces différents organismes sont susceptibles de tirer directement parti de la matière organique dissoute (dont une grande part est probablement issue des macrophytes) mais aussi de participer au recyclage de la matière organique particulaire piégée dans les zones couvertes par les hélophytes. Au cours d'un cycle hydrologique, ces sites privilégiés de minéralisation fonctionneraient tout d'abord comme des puits, piégeant une part importante de la biomasse planctonique et la retirant du système pélagique. Dans un second temps, elles feraient office de sources, libérant progressivement des composés minéraux après l'épisode de crue. Mais cet apport nutritif décalé dans le temps survient généralement dans un contexte de forte turbidité, et ne profiterait alors qu'à quelques groupes algaux adaptés et résistants, comme les cyanobactéries.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Agence de l'eau RMC, 1999 – *Qualité des eaux du Rhône, évolution 1969-1995.* 105 p.

Antwi L. A. K., 1990 – *Limno-chemistry of Volta lake 25 years after its formation.* Technical report, Institute of aquatic biology, Accra.

Arfi R., Bouvy M., Cecchi P., Pagano M., Thomas S., 2001 – Factors limiting phytoplankton productivity in 49 shallow réservoirs of North Côte d'Ivoire (West Africa). *Aquatic ecosystem health and management,* 4 (2) : 123-138.

Baijot E., Moreau J., Bouda S., 1994 – *Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahélienne.* CTA/CEE report, Bruxelles, 250 p.

Bouvy M., Falção D., Pagano M., Moura A., 2000 – Occurrence of *Cylindrospermopsis* (cyanobacteria) in 39 Brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquat Microbiol Ecol.,* 23 : 13-27.

Carlson R. E., 1977 – A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr., 22* : 361-369.

Carmouze J.-P., Durand J.-R., Lévêque C, 1983 – *Lake Chad : ecology and productivity of a shallow tropical ecosystem.* The Hague, Junk, 575 p.

Cipel, 1997 – *Rapports sur les études et les recherches entreprises dans le bassin lémanique.* Programme quinquennal 1996-2000, Campagne 1997, 163 p.

Corbin, D., 2000 – *Résultats des analyses portant sur les sites pilotes du programme Flag.* Doc. IRD Bouaké, Côte d'Ivoire, 4 p.

Denny P., 1985– *The ecology and management of African wetland vegetation.* Dordrecht, Junk, 344 p.

Dumont H., Pensaert J., Van de Velde I., 1981 – The crustacean zooplankton of Mali (West Africa). *Hydrobiologia,* 80 : 161-167.

Dumont H., 1986 – "The zooplankton of the Niger System". *In* Davies B. R., Walker K. F. (éd.) : *The ecology of river Systems,* Dordrecht, Junk : 49-59.

FAO, 1998 – *Statistiques des pêches.* Annuaire 1998, vol. 86 (1), 713 p.

Furch K., JunkW. J., 1997 – "Physicochemical conditions in the floodplains". *In* Junk W. J. (éd.) : *The central Amazon floodplain,* Springer Verlag, Ecological studies, 126 : 69-108.

Gourcy L, 1994 – *Fonctionnement hydrogéochimique de la cuvette lacustre du fleuve Niger. Bilans et suivis des flux hydriques, particulaires et dissous et des flux de méthane.* Thèse doct., univ. Paris-Sud, Orsay, 271 p.

Healey M. J., Moll R. A., Diallo C. O., 1988 – Abundance and distribution of bacterioplankton in the Gambia river, West Africa. *Microb. Ecol.,* 16, 291-310.

Laë R., 1992 – Influence de l'hydrologie sur l'évolution des pêcheries dans le delta central du Niger. *Aqu. Liv. Res.,* 5 : 115-126.

Laë R., 1995 – Climatic and anthropogenic effects on fish diversity and fish yields in the central delta of the Niger river. *Aqu. Liv. Res.,* 8 : 43-58.

Lemoalle J., 1999 – « La diversité des milieux aquatiques ». *In* Lévêque C, Paugy D. (éd.) : *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme,* Paris, IRD : 11-30.

Lévêque C, 1999-« Variabilité du climat et des régimes hydrologiques ». *In* Lévêque C, Paugy D. (éd.) : *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme,* Paris, IRD : 32-42.

Lowe-McConnell R. H., 1985 – "The biology of the river Systems with particular référence to the fishes". *In* Grave A. T. (éd.) : *The Niger and its neighbourgs,* Rotterdam, Balkema : 101-140.

Paugy D., Lévêque C, 1999 – « Régimes alimentaires et réseaux trophiques ». *In* Lévêque C, Paugy D. (éd.) : *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme,* Paris, IRD : 168-190.

Picouet C, 1999 – *Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé. Le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur.* Thèse doct., univ. Montpellier-II, 386 p.

Quensière J., Olivry J.-C, Poncet Y., Wuillot, 1994 – « Environnement deltaïque ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 29-80.

Strickland J. D. H., Parsons T. R., 1968 – *A practical handbook of seawater analysis.* Ottawa, Fisheries research board of Canada, bulletin, 167 p.

Talling J. F., 1992 – Environmental régulation in African shallow lakes and wetlands. *Rev. Hydrobiol. trop.,* 25 : 87-144.

Welcomme R. L, 1979 – *Fisheries ecology in floodplain rivers.* Londres, Longman, 317 p.

Welcomme R. L., 1986 – The effects of the Sahelian drought on the fishery of the central delta of the Niger river. *Aquacult. Fish. Man.* : 17 : 147-154.

NOTES

1. Orange D., Arfi R., Bénech V., Kuper M., Marieu B., ce volume – « Impact de la dynamique hydrologique sur les cycles de nutriments en zone inondable tropicale sahélienne ». *In : partie 2.*

AUTEUR

ROBERT ARFI

Hydrobiologiste. IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal,

Aspects de la production et du fonctionnement écologique des zones humides tropicales

Le bassin du lac Tchad

Jacques Lemoalle

1 Dans la plupart des pays tempérés, les zones humides ont été drainées, les crues amorties et les fleuves régulés dans un souci de maîtrise de la nature et de réduction des risques. Le bilan de ces actions est remis en question depuis quelques années, avec une préoccupation d'ordre patrimonial et récréatif (sauvegarder les espaces naturels et la diversité biologique) mais aussi d'ordre fonctionnel (les zones humides rendent des services à la société). Il s'agit de les identifier et d'en estimer la valeur – monétaire ou autres (Cummins et Dahm, 1995). Au-delà de l'affirmation « il faut conserver et protéger les zones inondables », souvent peu étayée par des données, il faut pouvoir apporter des éléments pour une gestion durable et profitable de ces systèmes.

2 En zone aride ou semi-aride, l'eau est par nature l'élément limitant de la production végétale et du réseau trophique qui peut lui être associé. Le seul nom de « zones inondables » souligne l'évidence de la singularité de ces systèmes : dans une région aride, il existe une zone où l'eau est un facteur beaucoup moins limitant qu'alentour. La végétation qui peut alors se développer dépend de la durée de l'inondation et de la profondeur atteinte. Le développement économique et démographique des pays a pour corollaire une pression accrue sur ces milieux naturels et sur les ressources en eau de surface. Le besoin d'une sécurité alimentaire se traduit souvent par une intensification des cultures et une recherche de la maîtrise de la ressource en eau qui paraît peu compatible avec la conservation des zones humides, et en particulier des plaines inondables. Il est donc important, ici aussi, de comprendre comment fonctionnent les zones inondables et d'évaluer les services qu'elles rendent à la société, afin de fournir des éléments d'aide à la décision dans la mise en place de politiques de développement (Thomas, 1995). Les recherches de l'Orstom (devenu IRD) dans le bassin tchadien et le lac Tchad ont contribué à la connaissance du fonctionnement des zones inondables : certains aspects, sans prétention à l'exhaustivité, sont résumés ci-dessous. Ils portent sur les

bilans en eau, en substances dissoutes et particulaires, sur la qualité chimique de l'eau, sur la production primaire ainsi que sur la production en poissons.

Les plaines d'inondation fluviales et le lac Tchad

3 Diverses classifications des zones inondables ont été proposées, dans lesquelles l'importance du régime hydrique est le plus souvent mise en avant (Junk, 1982). Parmi les caractéristiques importantes, il faut mentionner en particulier la durée d'inondation, la variation relative des surfaces inondées au cours de l'année et la connectivité avec le fleuve. Le rapport entre la surface inondée en permanence et la surface totale inondable est une variable importante du fonctionnement écologique. On peut citer d'un coté le Sudd (dans le bassin du Nil) ou l'Okavango (au Botswana) avec un rapport de « surface permanente / surface temporaire » de 0,6/1. Ce sont des marécages permanents avec une végétation macrophytique dense peu limitée par le manque d'eau. D'un autre coté, les plaines inondables des fleuves Niger et Sénégal, qui présentaient un rapport de 1/6 avant la construction des ouvrages de régulation. L'inondation saisonnière, de courte durée dans les zones périphériques, ne compense alors que très partiellement l'aridité du climat (Tailing et Lemoalle, 1998). Des rapports beaucoup plus petits s'appliquent aux plaines d'inondation du bassin tchadien, comme le « grand Yaéré » du système Chari-Logone, la plaine de Massénya, les zones inondables du Salamat dans le sud du Tchad ou d'Hadejia-Nguru sur la Komadougou Yobé au Nigeria près de la frontière avec le Niger. Ces systèmes sont en effet quasiment dépourvus d'eau en saison sèche, ce qui implique un cycle végétatif court et une remise en fonctionnement complète de l'écosystème aquatique à chaque crue. Actuellement, on peut inclure parmi les zones inondables le lac Tchad tel qu'il fonctionne dans son état de « petit Tchad » depuis 1976. Les surfaces inondées permanentes et maximales de la cuvette sud du lac sont respectivement de 4 000 et 9 000 km^2, et pour la cuvette nord de 50 et 7 000 km^2, soit pour l'ensemble un rapport « permanent / temporaire » de 1/3 à 1/4, ce qui se traduit par une végétation dense et relativement permanente.

4 Du moins en ce qui concerne le bassin tchadien, la végétation des marécages permanents est beaucoup plus dense, constituée d'autres associations que la végétation des plaines fluviales temporairement inondables. Dans ces deux types de milieu, les processus qui interviennent dans l'évolution de la qualité de l'eau – ou qui régissent les relations des compartiments biologiques entre eux ou avec le milieu – sont de même nature même s'ils agissent avec des intensités différentes. Les exemples qui seront proposés dans la suite du texte sont pris aussi bien dans les plaines fluviales du grand Yaéré ou de la plaine de Massénya que dans le lac Tchad.

Bilan hydrique

5 Le bassin tchadien est caractérisé par l'extension assez extraordinaire des plaines d'inondation fluviales résultant de la conjonction d'un régime fluvial tropical à forte crue annuelle avec le très faible relief de la plaine tchadienne. Des données précises actualisées manquent, mais l'Atlas pratique du Tchad (Cabot, 1972) permet d'évaluer à 108 000 km la surface inondable totale du bassin du Chari-Logone, dont 50 000 km^2 pour le bassin du Salamat. Ces données, valables pour la période plutôt humide des années 1960, seraient à actualiser, mais l'ordre de grandeur est significatif. Il faut encore ajouter les plaines

d'inondation de Hadejia-Nguru dans la plaine de la Komadougou Yobé, au Nigeria, qui fonctionnent suivant le même mode.

6 Dans le bassin du lac Tchad, les plaines d'inondation, aux sols hydromorphes argileux, sont d'abord alimentées par les pluies qui remplissent les dépressions et permettent aux graminées de se développer. Ce n'est qu'ensuite que les débordements des fleuves contribuent à une inondation plus complète et plus durable, et apportent en outre les matières en suspension qui sédimentent et participent à la productivité de ces systèmes. Ces débordements se font principalement sur des seuils, points bas des bourrelets de berge, par des défluents secondaires. Pour comprendre la cinétique de l'inondation, les principaux seuils doivent être bien identifiés et leurs fonctionnements analysés en fonction du débit des cours d'eau et aussi des aménagements existant le long de leurs berges.

7 Ces plaines inondables représentent des surfaces évaporatoires importantes entre le mois d'août et le mois de janvier, avec environ 1 000 mm de perte par évaporation. Si l'on considère que la surface évaporante moyenne est environ la moitié de la surface maximale atteinte au cours d'une saison, la perte d'eau par evaporation du grand Yaéré est de 6 km^3. Le bilan entre les entrées et sorties d'eau fluviale est donné en tableau 1 pour le grand Yaéré et pour la plaine plus réduite de Massénya, inondée par le Chari au sud de N'Djaména (d'après Gac, 1980).

Tableau 1. Bilan moyen annuel de deux plaines inondables du système Chari-Logone (d'après Gac, 1980).

		Entrée	Sortie	Bilan	unités
Yaéré	eau	3,20	1,15	-2,05	km^3
	MES	897	27	-870	10^3 tonnes
	dissous	185	151	-34	10^3 tonnes
Massénya	eau	1,7	0,8	-0,9	km^3
	MES	257	16	-241	10^3 tonnes
	dissous	104	101	-3	10^3 tonnes

8 Du fait de la durée du séjour de l'eau dans les plaines, celles-ci se comportent comme des zones de bassin à bilan négatif en eau. En zone sahélienne où la ressource en eau est rare, cette perte en eau n'est pas un élément favorable à la conservation des plaines d'inondation. Malgré cela, on peut considérer que le grand Yaéré et la plaine de Massénya font partie du complexe des zones inondables en amont de N'Djaména et de Kousseri, deux agglomérations importantes (au total plus d'un million d'habitants) situées au confluent du Chari et du Logone et exposées aux inondations en cas de forte crue de ces deux fleuves. En année normale, l'inondation de ces deux plaines contribue à écrêter la crue de 4,9 km^3 au confluent, et donc limite largement les risques d'inondation des villes. Un aménagement des seuils de déversement des fleuves vers les plaines permettrait sans doute de sécuriser les zones urbaines.

9 La recharge des nappes phréatiques par les plaines inondées, souvent mise en avant pour justifier leur sauvegarde, ne semble pas encore démontrée. Un programme en cours de l'Unesco combine piézomètrie et mesures isotopiques sur le grand Yaéré pour essayer d'évaluer une éventuelle recharge. L'effet du niveau du lac Tchad, en particulier dans la cuvette nord, est par contre bien identifié avec les remises en eau des mares du Kanem

dans les dépressions interdunaires, lorsque les apports du Chari permettent une inondation temporaire de la cuvette nord du lac.

Bilan géochimique : suspensions et substances dissoutes

10 L'entrée de l'eau de crue dans les plaines inondables s'accompagne d'un flux de matières dissoutes et en suspension (MES). Dans un environnement plus calme que le fleuve en crue, la quasi totalité des suspensions fluviales sédimente. Les échanges entre phase dissoute, particules argileuses et matière organique végétale vivante ou morte se traduisent par une modification de la composition chimique de l'eau (principalement en cations) au cours de la phase évaporatoire dans la plaine. Le bilan est légèrement déficitaire en substances dissoutes (tableau 1) et comporte principalement une perte de silice, de calcium et de magnésium (d'après Gac, 1980).

11 L'effet d'une végétation dense sur la composition de l'eau a aussi été observé dans le lac Tchad, par comparaison entre l'évolution au cours du temps de l'eau à Bol avant et après le développement de la végétation marécageuse dans l'archipel (fig. 1). Avant le développement des macrophytes (année 1973), l'eau du lac Tchad à Bol subit durant la saison sèche une séquence d'évaporation avec une augmentation proportionnelle de la conductivité et des concentrations en sodium et potassium tandis que calcium et magnésium précipitent en partie. Après le développement des macrophytes suite à l'exondation des sédiments qui a permis la germination des graines de nombreuses espèces, l'eau traverse une vaste superficie de marécages avant d'arriver à Bol, et continue de circuler dans la végétation au début de la période d'évaporation au cours de la saison sèche (années 1974 et 1975). La composition de l'eau à Bol lorsque les marécages sont présents est appauvrie en potassium qui a été consommé par les macrophytes, mais les autres ions restent en proportions peu différentes de celle trouvée en moyenne dans l'eau du Chari qui constitue l'essentiel des apports au lac (fig. 1). Le calcium et le magnésium participent, en phase de lac Tchad normal, à des équilibres de précipitation de carbonates et à des réactions d'adsorption et néoformation avec les argiles en suspension, qui contribuent à limiter fortement leur concentration dans l'eau (Carmouze, 1983). La présence des macrophytes se traduit notamment par une pression partielle de CO_2 dans l'eau plus forte et par une diminution de la quantité de particules minérales en suspension. Ces deux facteurs contribuent au maintien en solution du calcium et du magnésium.

12 Si l'on compare les observations faites sur le bilan du grand Yaéré et sur les processus en jeu dans le lac Tchad, il apparaît que seule la forte densité de la végétation en phase de « petit Tchad » modifie sensiblement la composition de l'eau et, dans le cas présent, limite la précipitation des carbonates de calcium et de magnésium lors de l'évaporation en saison sèche. La pression partielle de CO_2 ($10^{-2,4}$ atm) résultant de la présence de matière organique dans l'eau est un facteur important de cette modification de comportement. L'effet est moins net dans la plaine d'inondation fluviale où la végétation est beaucoup moins dense. Des quatre cations analysés, le potassium est par ailleurs absorbé en plus grande quantité par les macrophytes dont il constitue un élément quantitativement aussi important que l'azote (litis et Lemoalle, 1983 ; Tailing et Lemoalle, 1998).

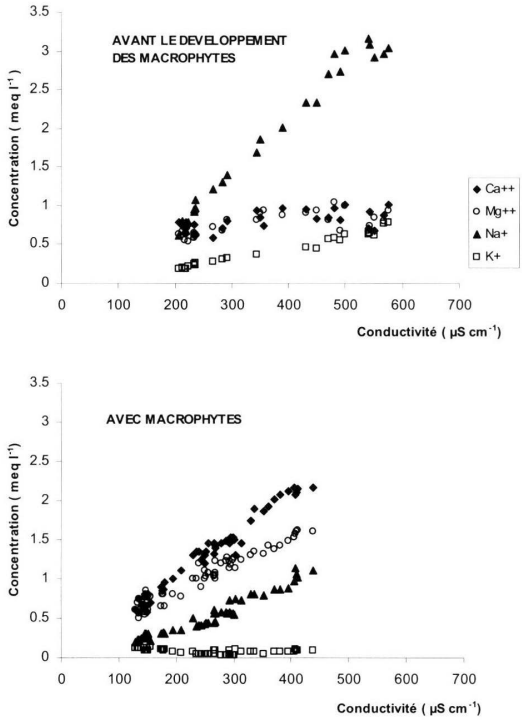


Figure 1. Évolution des caractéristiques géochimiques de l'eau du lac Tchad à Bol avant et après le développement de la végétation marécageuse.

Biomasse végétale

13 La communauté végétale est particulièrement diversifiée dans les plaines inondables. On remarque en particulier les plantes de grande taille – les macrophytes – enracinées dans le sédiment et complètement submergées ou en partie émergées (les hélophytes), ou bien avec des racines libres dans l'eau (plantes flottantes).

14 Moins évidentes, mais néanmoins importantes dans les transferts trophiques, les microalgues sont dispersées dans l'eau (phytoplancton) ou bien attachées sur le fond (phytobenthos) ou fixées avec d'autres micro-organismes sur les végétaux supérieurs (périphyton).

15 Peu d'équipes se sont intéressées sur un même milieu, et en même temps, au développement et aux interrelations des diverses composantes de la flore d'une plaine inondable de région sèche (Thomas *et al.,* 2000). Les observations concordent sur le fait que le phytoplancton est en concentration plutôt faible dans les fleuves en crue ou dans les zones inondées occupées par les macrophytes, et qu'il peut par contre se développer fortement dans les mares résiduelles en fin de cycle. L'ordre de grandeur de concentration du phytoplancton est de 0,2 à 0,5 mg 1" de matière sèche dans la zone inondée (soit 1 à 2 g m^{-2}) et peut atteindre 25 mg l^{-1} dans les mares résiduelles en fin de cycle.

16 Les plantes supérieures constituent l'élément le plus visible de la flore, avec des biomasses très importantes. Dans les zones d'inondation saisonnière, la plupart des herbes pérennes meurent ou sont brûlées lors de l'assèchement. Les nouvelles pousses de saison sèche sont broutées et, bien qu'importantes pour la faune herbivore domestique ou

sauvage, ne participent que relativement peu à la production. L'essentiel de la production annuelle, au moins pour la partie aérienne des plantes, est donc égal à la biomasse maximale observée. Il est estimé que des productions de 1 à 2 kg m^{-2} sont possibles dans les prairies inondables (Welcomme, 1979). Dans une revue de la productivité des systèmes, Westlake (1963) plaçait parmi les premiers les marécages permanents tropicaux avec une production annuelle atteignant 7,5 kg m^{-2}. Des densités de 3 à 5 kg m" (rhizomes inclus) semblent courantes pour *Cyperus papyrus* ou *Typha domingensis.* La densité moyenne de la végétation aquatique des rives du lac Tchad en période de Tchad normal (*Phragmites australis, C. papyrus, Vossia cuspidata* et *Typha domingensis*) a été estimée à 3 kg m $^{-2}$ (litis et Lemoalle, 1983).

17 La biomasse par unité de surface des macrophytes est donc environ mille fois plus grande que celle du phytoplancton lorsque la végétation est totalement développée. Cette biomasse n'est cependant directement accessible qu'à une minorité d'organismes aquatiques capables de consommer des feuilles ou des racines. Le transfert vers le réseau trophique se fait *via* les produits de dégradation, les bactéries et le mucus ou le périphyton attachés aux parties immergées des macrophytes. La composition et la biomasse de ce peuplement fixé sont mal connues, mais un ordre de grandeur de 1 à 2 % de la biomasse macrophytique semble réaliste, ce qui correspondrait de 20 à 100 g m^{-2} de matière sèche, incluant des invertébrés. Les organismes consommateurs, et en particulier les juvéniles de poissons, trouvent là une biomasse concentrée dans un volume réduit et plus accessible que le phytoplancton. La relation entre surface inondée et production par pêche, mise en évidence dans le grand Yaéré et dans d'autres zones inondables (Welcomme, 1979 ; Bénech et Quensière, 1983 ; Laë et Mahé, ce volume[1]) résulte probablement d'un ensemble d'interrelations, et ne permet pas de statuer sur un effet éventuellement limitant de la quantité de substrat disponible sur la production en poisson.

18 Le flux de matière participant à la production primaire des plaines inondées ou des marécages plus permanents ne se limite pas au système aquatique : des échanges importants ont lieu avec les systèmes adjacents. Une forte proportion de l'azote, du potassium et du phosphore assimilée par les macrophytes enracinés provient du sédiment et peut partir vers l'atmosphère lors des incendies de saison sèche. La photosynthèse des plantes émergentes se fait avec le CO_2 atmosphérique, tandis qu'une partie de la décomposition a lieu dans l'eau, d'où une forte sursaturation en CO_2 dissous, saisonnière pour les plaines inondables mais quasi constante dans les marécages permanents. Dans ce dernier cas, le système aquatique limité à la seule masse d'eau et au sédiment superficiel se comporte comme un système hétérotrophe dans lequel la matière organique est d'origine allochtone et où les processus de décomposition l'emportent sur la production photosynthétique : la masse d'eau importe de la matière organique et fonctionne comme un exportateur de CO_2 vers l'atmosphère.

19 L'étude de la composition isotopique des différentes composantes de la biomasse primaire et des organismes consommateurs permettrait ici de clarifier les principaux maillons du réseau trophique, avec un intérêt marqué pour les espèces de poissons africains considérées comme consommatrices de macrophytes : *Brycinus macrolepidotus, Alestes dentex,* plusieurs espèces des genres *Citharinus* et *Distichodus,* et enfin *Heterotis niloticus* (Paugy et Lévêque, 1999).

Cycle écologique

20 Les plaines inondables fonctionnent par pulsations ("*flood puisé*" de Junk, 1982) dépendant du régime des pluies et du fleuve. Les organismes de la flore et de la faune se sont adaptés à ces pulsations par des stratégies de cycle vital et de reproduction qui tiennent compte aussi de la variabilité climatique interannuelle (Lévêque et Paugy, 1999). On assiste ainsi, dans le système fluviolacustre tchadien, à des migrations de reproduction des poissons depuis le lac vers les zones de déversement des eaux de crue dans les plaines d'inondation. Pour pénétrer dans la plaine, les larves ou les juvéniles doivent être présents au moment où le fleuve est assez haut pour commencer à inonder la plaine. Il faut aussi que la pluie ait permis au préalable un début de croissance de la végétation, afin de fournir l'abri et la nourriture nécessaires. L'essentiel du cycle productif, succinctement décrit ici pour les poissons – mais cela est également vrai pour les autres animaux dont les oiseaux aquatiques – est fortement lié à la synchronisation entre inondation et cycle biologique des espèces. On retrouve la même liaison temporelle dans la plaine du Pongola (Merron *et al.,* 1993) ou sur la Cross River au Nigeria (Moses, 1987). On constate également que les espèces dont les écophases juvéniles utilisent les ressources des plaines inondables sont particulièrement fécondes, ce qui permet un renouvellement du stock par un faible effectif après une ou plusieurs années défavorables (exemple *d'Alestes baremoze* dans le système Chari-lac Tchad).

21 Cette double contrainte, de variabilité et d'alternance entre sécheresse et inondation, sélectionne également les végétaux et maintient leur diversité biologique dans les plaines inondables et les marécages. La résistance à une sécheresse prolongée – voire pluriannuelle – des graminées pérennes de la plaine de Waza dans le grand Yaéré a été démontrée lors d'expériences de remise en eau partielle de la zone (Gepis, 2000). Inversement, des périodes de forte sécheresse, telles qu'en a connues la cuvette sud du lac Tchad en 1973/74, sont nécessaires pour le renouvellement du peuplement de la grande légumineuse *Aeschynomene elaphroxylon* dont les graines ne peuvent germer que dans un sédiment exondé.

22 La synchronisation est aussi nécessaire pour la croissance des grandes graminées dont le développement commence avec les pluies, et qui doit ensuite s'adapter à l'élévation du niveau de l'eau. La répartition en fonction de la profondeur atteinte en année normale de crue est un indice de l'adaptation des espèces au cycle hydrologique, avec *Echinochloa, Vossia, Ludwigia* et *Oryza* parmi les genres les mieux adaptés aux grandes profondeurs ou fluctuant le plus rapidement.

Conclusion

23 Par les biomasses mises en jeu, les macrophytes sont un élément majeur du fonctionnement des zones inondables ou des marécages, avec la mise en œuvre d'une association étroite entre les cycles climatique, hydrique et biologiques. La production de biomasse végétale, de poissons et d'autres services rendus à la société doivent être évalués au regard des pertes en eau par évaporation.

24 Les graminées naturelles sont utilisées directement par les troupeaux (*Vossia, Echinochloa*), par les hommes (*Oryza*) et d'autres compétiteurs (de la souris à l'éléphant). Elles ont une

importance particulière lors d'épisodes de sécheresse, durant lesquels les zones humides sont un refuge pour les populations. Le mode d'intervention de ces plantes dans la productivité de la masse d'eau, et notamment des poissons, semble cependant encore très mal connu.

25 Outre leur intérêt fondamental évident, des recherches dans ce domaine pourraient mener à la gestion d'un meilleur transfert entre macrophytes et poissons.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bénech V., Quensière J., 1983 – Migrations de poissons vers le lac Tchad à la décrue de la plaine inondée du Nord-Cameroun. *Rev. Hydrobiol. trop.,* 16 : 287-316.

Cabot J., 1972 – *Atlas pratique du Tchad.*

Carmouze J.-P., 1983 – "Hydrochemical regulation of the lake". *In* Carmouze J.-P., Durand J.-R., Lévêque C. (éd.) : *Lake Chad, Monogr. Biol.,* Junk, 53.

Cummins K. W., Dahm C. N., 1995 – Introduction restoring the Kissimmee. *Restor.-Ecol.,* 3 : 147-148.

Gac J.-Y., 1980 – *Géochimie du bassin du lac Tchad. Bilan de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation.* Paris, Orstom, coll. Trav. et Doc, 123, 251 p.

Gepis, 2000 – *Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes.* Groupe d'experts sur les plaines d'inondation sahéliennes, UICN, Gland, 214 p.

Iltis A., Lemoalle J., 1983 – "The aquatic vegetation of Lake Chad". *In* Carmouze J.-P., Durand J.-R., Lévêque C. (éd.) : *Lake Chad, Monogr. Biol.,* Junk, 53 : 125-144.

Junk W. J., 1982 – Amazonian floodplains : their ecology, present and potential use. *Rev. Hydrobiol. trop.,* 15 : 285-302.

Lévêque C, Paugy D., 1999 – « Peuplements des cours d'eau et des biotopes associés ». *In* Lévêque C, Paugy D. (éd.) : *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme,* Paris, IRD, 521 p.

Merron G. S., Bruton M. N., La-Hausse-de-Lalouvière P., 1993 – Implications of water release from the Pongolapoort dam for the fish and fishery of the Pongola floodplain, Zululand (South. Afr.). *J. Aquat. Sc.,* 19 : 34-49.

Moses B. S., 1987 – The influence of flood regime on fish catch and fish communities of the Cross River floodplain ecosystem, Nigeria. *Environ. Biol. Fish.,* 18 : 51-65.

Paugy D., Lévêque C, 1999 – « Régimes alimentaires et réseau trophique ». *In* Lévêque C, Paugy D. (éd.) : *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme,* Paris, IRD, 521 p.

Thomas D. H. L, 1995 – Artisanal fishing and environmental change in a Nigerian floodplain wetland. *Environ.-Conserv.,* 22 : 117-126.

Thomas S., Cecchi Ph., Corbin D., Lemoalle J., 2000-The different primary producers in a small African tropical reservoir during a drought : temporal changes and interactions. *Freshwater Biology,* 45 : 43-56.

Tailing J. F., Lemoalle J., 1998 – *Ecological dynamics of tropical inland waters.* Cambridge University Press, 441 p.

Welcomme R. L., 1979 – *Fisheries ecology of floodplain rivers.* Longman, London and New York, 317 p.

Westlake D. F., 1963 – Comparison of plant productivity. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc,* 38 : 385- 425.

NOTES

1. Laë R., Mahé G., ce volume – « Crue, inondation et production halieutique : un modèle prédictif des captures dans le delta intérieur du Niger ». *In : partie 4.*

AUTEUR

JACQUES LEMOALLE

Hydrobiologiste. IRD, Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France,

Fonctionnement hydrosédimentologique du lac Débo

Le rôle du bourgou

Samuel Diarra, Didier Orange et Philippe Bonté

1 Le delta intérieur du fleuve Niger est divisé en deux parties géomorphologiquement différentes, par trois lacs centraux connectés les uns aux autres et constituant le premier plan d'eau pérenne rencontré par les eaux. On y trouve à l'ouest, alimenté par le Diakka, le lac Wallado qui débouche dans le lac Débo situé au centre ; ce dernier, le plus grand des trois lacs, reçoit au sud les bras principaux du Niger et est en connexion à l'est avec le lac Korientzé (fig. 1). Véritable mer intérieure d'une superficie moyenne de 100 km^2, ce complexe lacustre est situé à 800 km environ au nord-est de Bamako, entre 3°07'-4°00'N et 15°00'-15°25'0. Il constitue le point de passage obligatoire de toutes les eaux d'écoulement provenant du bassin supérieur du Niger et possède trois sorties dont la principale au nord-ouest est l'Issa Ber (bras majeur du fleuve Niger collectant 90 % des écoulements). Au centre nord, on trouve le Bara Issa (au droit de Awoye) avec à peine 10 % des écoulements, et la troisième sortie, aujourd'hui pratiquement non fonctionnelle, est le Koli Koli en aval du lac Korientzé à l'extrême nord-est (fig. 1).

2 Avant d'arrivée à ce complexe lacustre, les eaux du fleuve Niger et de ses affluents ont traversé la partie amont du delta qui correspond à une grande plaine d'inondation où la majeure partie des flux sédimentaires provenant de l'amont ont pu se déposer (Gourcy, 1994 ; Bricquet *et al.*, 1997 ; Picouet *et al.*, ce volume[1]). Ainsi les eaux fluviales qui arrivent au complexe lacustre Wallado-Débo-Korientzé sont des eaux faiblement turbides, de l'ordre de 30mgr l^{-1} (Picouet, 1999). Cependant depuis la sécheresse des années 80, la Compagnie malienne de navigation (Comanav) signale de grosses difficultés de navigation sur le tronçon Koulikoro-Gao et particulièrement dans le lac Débo où les bancs de sables provoquent par leurs déplacements permanents des échouages de plus en plus fréquents.

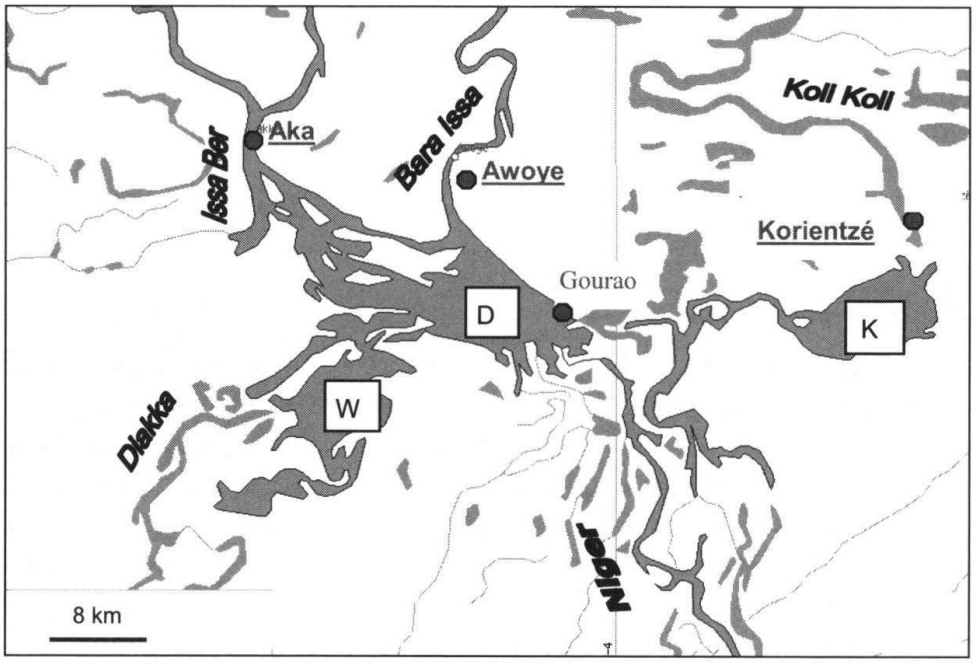


Figure 1. Carte de situation géographique du lac Débo (D) et de ses deux lacs satellites, le Wallado (W) à l'ouest et le Korientzé (K) à l'est, complexe lacustre situé au centre du delta intérieur du fleuve Niger.

3 Qu'en est-il ? Quels sont les mécanismes de transferts sédimentaires dans cette entité lacustre ? Quelle est la répartition spatiale et densimétrique des sédiments dans le lac ? Quelles sont les modalités de dépôt et de tassement des sédiments ? Autant de questions à résoudre pour appréhender l'évolution de ce lac utilisé aussi bien pour la navigation que pour la pêche.

4 Dans le cadre de la zone atelier du delta intérieur du Niger (financé par le GIP-Hydrosystème), le laboratoire de sédimentologie de la Direction nationale de l'hydraulique (DNH), en partenariat avec le projet Gihrex de l'IRD, a initié un travail sur la dynamique actuelle des dépôts lacustres dans le delta intérieur (Orange, 2000). Une campagne de prélèvements de sédiments du lac Débo a été effectuée en novembre 1999, couplée avec une évaluation radio-isotopique de l'érosion et du transport sédimentaire en zones soudano-sahéliennes au Mali financée par l'AIEA[2] (Bonté, 1999). Les mesures effectuées ont porté sur l'identification et la répartition des dépôts dans le lac Débo pour caractériser la qualité des dépôts dans le lac, leur dynamique de sédimentation et pour comprendre les mécanismes de transfert et de rétention sédimentaires.

Déroulement des travaux de terrain

5 Le travail de terrain a consisté en un échantillonnage systématique par carottage des sédiments du lac Débo. L'échantillonnage a été fait selon des profils transversaux equidistant de 1,2 km sur toute la largeur du lac. Le long d'un profil, la distance entre les prises d'échantillon a varié entre 200 et 500 m. Au total, 22 profils transversaux ont été exécutés dans le lac Débo et 7 profils supplémentaires ont été exécutés au niveau des bras d'entrée et de sortie. Le matériel utilisé sur le terrain comprenait un carottier à piston (type Uwitec, Allemagne), des trousses coupantes pour la scission des échantillons, un DGPS de positionnement et d'orientation, une plate-forme (barge) motorisée de

navigation et une carte de la région au 1 :200 000. Le carottier Uwitec permet d'obtenir des carottes de 40 à 50 cm de longueur, dans un tube transparent qui autorise un repérage des différents horizons. Des observations visuelles qualitatives de turbidité de l'eau ont pu être effectuées. Les carottes prises au niveau de chaque point ont fait l'objet de descriptions pédo-stratigraphiques et de découpages selon les strates. Ainsi 169 carottes prélevées ont donné lieu à 507 tranches de sédiments, qui ont servi aux analyses et tests de laboratoire suivants : identification liminaire des strates, analyses granulométriques, mesures rhéologiques (viscosité), mesures de densité par décantation. Une carotte d'un profil nord-sud au centre du lac Débo, tronçonnée en trois sections (0-2,5 cm, 2,5-12 cm et 12-24 cm), a servi à l'analyse des éléments radio-isotopiques[3] (notamment du césium-137) (Bonté, 1999).

Répartition des sédiments dans le lac Débo

6 Il ressort des identifications stratigraphiques sur le terrain que les dépôts du lac Débo sont constitués essentiellement de sables de diamètres différents, de limons et de vases argileuses. La répartition se fait suivant une différentiation sédimentaire guidée essentiellement par le régime hydraulique des écoulements.

A l'entrée du lac

7 La particularité de l'entrée du fleuve Niger dans le lac Débo est la ramification des lits apparents entre lesquels se trouvent de nombreuses touffes de bourgou, plante fourragère aquatique typique du delta intérieur du Niger[4]. Particulièrement abondant au niveau du bras entrant principal du Niger et du passage reliant le Korientzé au Débo (au droit du village de Gourao), le bourgou y modifie sensiblement l'hydrodynamisme. Au voisinage de ces touffes, les dépôts prennent un caractère vaseux et argileux à cause des effets de ralentissement du courant par les herbes. Cependant les échantillons montrent qu'en ces endroits, sous les dépôts vaseux et argileux, se trouvent des dépôts sableux constitués de sables grossiers à fins disposés en strates de différentes couleurs :

- en surface : dépôt sableux (sables grossiers à fins) de faible épaisseur, très peu consolidé ;
- en semi-profondeur : dépôt d'argile blanchâtre assez consolidé ;
- en profondeur : dépôt sablo-argileux à argilo-sableux noir consolidé, dont la couleur noire des argiles serait fort probablement due à la matière organique décomposée.

8 Cette répartition verticale laisse penser à des successions de périodes à hydraulicités différentes pouvant marquer des successions d'années sèches et d'années humides, ou des variations d'hydraulicité au sein d'une même année. Des argiles à concrétions latéritiques bien évoluées ont été observées à la base de quelques carottes dans les zones où les dépôts sont peu consolidés, particulièrement sous les strates sableuses. Au niveau du passage entre le Wallado et le Débo, les dépôts sont constitués de sables argileux en surface et d'argiles sableuses compactes en profondeur. La turbidité des eaux de fond est importante, témoignant d'un transfert de matières en suspension entre le Wallado et le Débo par un courant de fond.

Dans le lac Débo

9 Le ralentissement du courant provoque la sédimentation dans les nombreux lits du lac, où les sédiments sont dominés par des sables grossiers, moyens et fins ainsi que par des limons. Les eaux de fond sont souvent turbides, indiquant que les particules les plus fines sont transportées vers l'aval par un courant de fond non négligeable. La succession verticale caractéristique des sédiments du lit du lac est la suivante :

- en surface : dépôts sableux (sables grossiers à fins), très peu consolidés ;
- en semi-profondeur : dépôts d'argiles blanchâtres consolidés ;
- en profondeur : dépôts sablo-argileux à argilo-sableux noirs, assez consolidés.

10 Par contre, les zones latérales d'épandage des eaux connaissent une sédimentation de particules plus fines (constituées de limons, limons vaseux, vases et argiles), caractérisant une tendance à la différentiation sédimentaire latérale. Ainsi les dépôts sont de plus en plus fins à mesure que le point d'échantillonnage s'éloigne des lits. Les zones périphériques des lits sont donc des zones à sédimentation de vases et d'argiles. Par exemple, après la confluence du Bara Issa, la succession verticale devient :

- en surface : dépôts sablo-argileux noirs, peu consolidés ;
- en semi-profondeur : dépôts sablo-argileux rouges, consolidés ;
- en profondeur : dépôts argilo-sableux rouges (latéritiques), très consolidés.

11 Par ailleurs, on note aussi que la qualité des sédiments est tributaire de la densité de bourgou. En effet, la présence de bourgou sur les berges entraîne la sédimentation de particules fines se traduisant par la succession de sables limoneux disposés en couches épaisses sous lesquelles gisent des argiles blanchâtres et des argiles noires. Ainsi aux abords des nombreux îlots situés dans la partie nord-ouest du lac, on trouve la séquence sédimentologique suivante :

- en surface : dépôts sablo-limoneux à racines ;
- en semi-profondeur : dépôts limoneux à coquillages ;
- en profondeur : dépôts sablo-argileux à argilo-sableux.

Au niveau des sorties

12 La sortie principale du lac (au droit de Aka sur l'Issa Ber) est caractérisée par des dépôts très fins constitués de vases noires très peu consolidées en surface et de vases argileuses à concrétions latéritiques évoluées en mi-profondeur, sous lesquelles se trouvent des argiles latéritiques très consolidées. Des argiles à concrétions latéritiques bien évoluées ont été observées à la base de quelques échantillons dans les zones où les dépôts sont peu consolidés, particulièrement au niveau de la berge droite de l'Issa Ber (au droit de Sobé, de Férobé et de Aka).

13 L'échantillonnage a concerné deux profils de la sortie secondaire du lac (au droit de Awoye sur le Bara Issa). La succession stratigraphique des dépôts montre du sable rouge en surface et du sable fin blanchâtre en profondeur. Au niveau des berges, des dépôts argileux noirs et peu épais se retrouvent au toit de cette succession, surtout à proximité des zones herbacées (à bourgou et riz). Les eaux du voisinage du fond sont troubles, indiquant encore un transport de particules hors du lac.

14 Dans le lit du Koli Koli, la surface sédimentaire est constituée de sables rougeâtres sous lesquels se trouvent des sables argileux recouvrant des argiles sableuses. Par contre, dans les autres parties du profil, on retrouve des sables argileux noirs en surface, des sables argileux blancs en mi-profondeur et en profondeur.

Analyses sédimentologiques

Granulométrie

15 Les courbes granulométriques indiquent qu'il existe une différentiation sédimentaire s'opérant tant de l'amont vers l'aval, que du lit vers les berges (fig. 2). Cette différentiation est perturbée localement soit à cause de l'entrée d'un affluent (cas du Walado-Débo), soit à cause de la sortie des eaux (cas du Bara Issa).

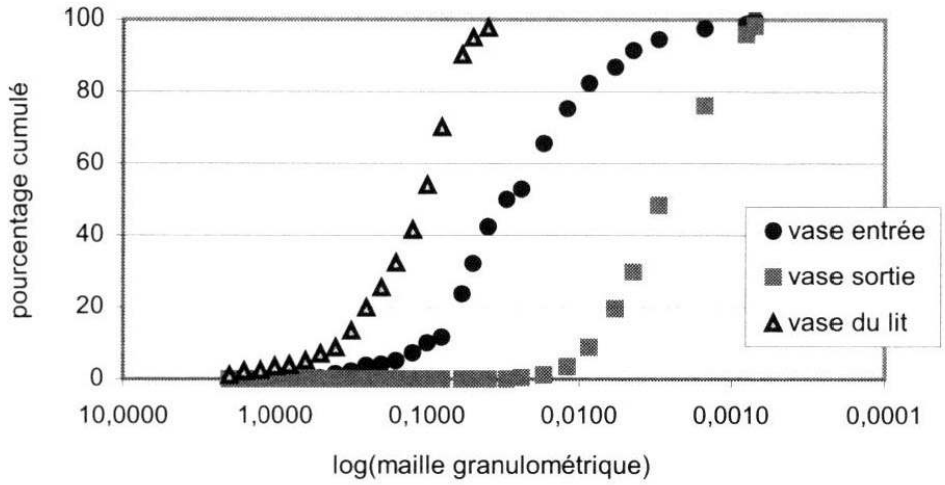


Figure 2. Courbes granulométriques des vases du lac Débo (maille granulométrique exprimée en mm, sur une abscisse logarithmique).

16 Dans les lits, les particules sont plus grossières à l'entrée, devenant de plus en plus fines vers la sortie. Cependant une accélération du courant après les îlots de la sortie crée une mobilisation des particules grossières arrachées aux formations sableuses de fond. Cette remarque est aussi valable pour les affluents et les défluents.

17 Dans les zones latérales d'épandage, une faible différentiation existe, fortement perturbée par les changements de position des lits, par l'arrivée des affluents, le drainage des défluents, les îlots et les zones herbacées. La tendance est à la réduction du diamètre des particules sur un même tronçon non influencé par ces facteurs.

Rhéologie

18 Les dépôts les plus visqueux à forte consolidation se retrouvent dans les zones latérales d'épandages, en aval des îlots et à la sortie du lac. Ils correspondent surtout aux dépôts argileux de fond et de demi-fond. Leur viscosité dynamique varie de $7{,}95.10^{-3}$ Pa s^{-1} à $9{,}75.10^{-2}$ Pa s^{-1}. La remobilisation naturelle de ces dépôts nécessite un courant assez fort. Par contre, les strates les moins consolidées, même si elles sont formées par des argiles, présentent une viscosité inférieure à $7{,}95.10^{-3}$ Pa s^{-1}. Cette faible viscosité est indicatrice

de dépôts récents sujets à la remobilisation sous l'effet de courants modérés. Les faibles viscosités se rencontrent aux abords des zones herbacées et dans les couches superficielles des zones de sortie des eaux du lac.

19 Les dépôts sableux n'ont pas fait l'objet de mesures rhéologiques.

Analyses isotopiques

20 Certains radio-isotopes environnementaux, principalement le césium-137 (^{137}Cs), peuvent être utilisés pour analyser la redistribution des particules fines des sols depuis une quarantaine d'année (Murray *et al.*, 1987 ; Quine, 1989 ; Walling et Quine, 1990, 1995 ; Walling *et al.*, 1995 ; Sogon, 1999). En effet, lors des campagnes d'essai des bombes thermonucléaires réalisées entre les années 1955 et 1963, des quantités non négligeables de sous-produits des explosions (produits de fission et d'activation neutronique) ont été injectées dans l'atmosphère à très haute altitude, passant ainsi dans la stratosphère. La faiblesse des mouvements de convection dans cette partie de l'atmosphère a permis une répartition homogène tout autour de la planète. Ces aérosols sont ensuite retombés vers la surface, avec un maximum vers les moyennes latitudes de l'hémisphère nord. Le Cs est de loin le marqueur le plus aisément détectable de nos jours : c'est un émetteur gamma d'assez forte énergie (661 keV) et de 30,17 ans de période radioactive. Il se fixe rapidement sur les particules argileuses en surface des sols et constitue ainsi un marqueur de choix des déplacements de ces particules depuis une quarantaine d'année. Il permet d'analyser la redistribution des particules fines, aussi bien des sols que des sédiments du lit des rivières. Dans ce cas, il permet d'estimer la vitesse d'envasement et d'obtenir un repère chronologique dans l'étude de l'évolution sédimentologique des systèmes hydrographiques. Pour une première approche au Mali, il s'agissait de vérifier la faisabilité de la méthode en milieu tropical ouest africain. En effet, les retombées de ^{137}Cs ont été nettement plus faibles aux basses latitudes (comme le Mali situé entre 11° et 17° N). Pour cela, trois sols représentatifs des principales situations climatiques du bassin amont du delta intérieur du Niger (régions de Bandiagara, de Bougouni et de Kolokani) ont fait l'objet de carottage au même titre que le sédiment du centre du lac Débo. Les analyses, faites par spectrométrie gamma sur des aliquotes de 30 à 100 g et pour des comptages de l'ordre de 24 h (Bonté, 1999), donnent les activités spécifiques en ^{137}Cs et ^{210}Pb ainsi que les teneurs en potassium, uranium et thorium (tableau 1). Tous les échantillons présentent une activité de ^{137}Cs largement supérieure au seuil de détection. Ces résultats sont encourageants et démontrent la faisabilité de la méthode dans cette région tropicale.

21 Les sédiments du lac sont largement plus riches en potassium, uranium et thorium que les sols de l'amont. Cette différence systématique est sans aucun doute la conséquence de l'entraînement sélectif des particules les plus fines par les processus érosifs, car les particules plus grossières (quartz) sont pauvres en ces éléments. Toutefois, nous ne comprenons pas la très faible teneur en potassium de l'échantillon de la zone de Bougouni, alors que les teneurs en uranium et thorium sont « normales ». La fraction fine des sols, nourricière pour les cultures, est donc irrémédiablement lessivée vers les cours d'eau pour être accumulée dans les plaines et les lacs du delta intérieur.

22 Les niveaux d'activité du ^{137}Cs dans les sédiments du lac sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés dans les sols (de 1,5 à 3 Bq kg^{-1}). Les rapports $^{137}Cs/K$ des sédiments du

lac sont très faibles comparativement à ceux des zones sources (tableau 1). Cette diminution des teneurs en césium par rapport au potassium correspond à une correction des différences de granulométrie et indique une dilution des apports sédimentaires amonts par des particules fines d'une autre origine : soit une remise en suspension de sédiments antérieurs aux années 60, soit/et une érosion des berges amont du fleuve constituées de sédiments très anciens. En effet, le marquage par le ^{137}Cs ayant partout eu lieu à la même époque (les années 60), toutes les particules sont *a priori* porteuses d'un signal de même intensité.

Tableau 1. Résultats des analyses par spectrométrie gamma (pourcentage de K déterminé par le ^{40}K).

Description	^{137}Cs (Bq kg^{-1})	^{210}Pb (Bq kg^{-1})	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	^{137}Cs/ K	^{210}Pb /K
sédiments du lac Débo							
0 à 2,5 cm	2,1 ± 0,4	56 ± 5	1,01	3,9	14,5	2,1	55
2,5 à 12 cm	1,5 ± 0,2	41 ± 4	1,00	2,9	12,1	1,5	41
12 à 24 cm	2,6 ± 0,1	34 ± 2	0,94	3,2	12,9	2,7	36
sols amonts (horizon de surface)							
Bandiagara	2,1 ± 0,1	19 ± 1	0,24	1,2	3,7	8,7	79
Bougouni	3,4 ± 0,1	26 ± 2	0,08	1,2	2,3	41	32
Kolokani	1,3 ± 0,1	19 ± 1	0,21	1,2	3,1	6,1	90

23 Quels que soient ces phénomènes de dilution, le signal stratigraphique est sans équivoque : il s'agit d'une sédimentation postérieure aux années 60 de l'ensemble des dépôts. Cette information est confirmée par l'activité des sédiments en $^{210}Pb_{xs}$ (correspondant à l'excès d'activité du plomb-210), dont la demi-vie est de 22,26 ans. Le ^{210} Pb est présent naturellement dans tous les minéraux contenant de l'uranium et en équilibre radioactif avec lui (*i.e.* de même activité spécifique) ; une activité supplémentaire est apportée à la surface des sols par la désintégration du radon atmosphérique, ce qui va marquer les particules de surface des sols ou en suspension des cours d'eau. Cette activité supplémentaire (excès de ^{210}Pb) va diminuer au cours du temps une fois les particules porteuses enfouies dans les sédiments. Aussi seul un sédiment relativement jeune (quelques décennies au maximum) sera porteur d'un excès de ^{210}Pb, ce qui est le cas des échantillons du lac Débo (tableau 1). L'enrichissement en ^{210}Pb des sédiments par rapport aux sols est dû à un marquage supplémentaire pendant le transit des matières en suspension dans la rivière. Comme pour le césium, les rapports $^{210}Pb/K$ des sédiments du lac sont inférieurs à ceux des sols de l'amont, indiquant une dilution des particules fines provenant des zones érodées.

Dynamique hydrosédimentologique du lac Débo

24 Toutes les analyses sédimentologiques et radio-isotopiques indiquent donc que les sédiments du lac Débo proviennent de particules érodées et déposées récemment. En année de bonne hydraulicité, une partie des dépôts – en particulier ceux non consolidés de l'année précédente – sont repris par charriage ou en suspension pour être évacués

hors du lac. Cette succession de phases de dépôt et de reprise a permis au lac Débo de survivre des années durant sans remplissage significatif. Cependant la disparition de certaines couches sédimentaires en plusieurs endroits du lac, le changement de taille des particules, la coloration des strates, l'accumulation importante des dépôts dans les zones de sortie, la faible viscosité des dépôts et les résultats d'analyse du ^{137}Cs et du ^{210}Pb indiquent qu'il y a eu une réduction significative de la capacité des eaux du lac à remobiliser les sédiments déposés d'une année sur l'autre depuis les sécheresses successives des années 70 et 80. Les strates contenant des tests ou coquilles d'organismes aquatiques (sables et sables limoneux blanchâtres) résultent d'une bonne hydraulicité tandis que les vases argileuses (ou sablo-limoneuses) noires à grisâtres se déposent en période d'hydraulicité basse.

25 La répartition spatiale des vases met en évidence le rôle du bourgou dans le fonctionnement hydrosédimentologique du lac. Au voisinage des colonies de bourgou, les dépôts prennent un caractère vaseux à argileux souvent noir traduisant une sédimentation fine due au ralentissement du courant par les tiges et une activité importante de décomposition de la matière organique. En ces endroits attribués à une colonisation récente du bourgou à partir de documents photographiques (photographie aérienne et imagerie Spot), les dépôts sableux grossiers se trouvent sous les dépôts vaseux traduisant un changement récent de dynamique sédimentaire. De plus, une partie de ces dépôts argileux noirs (présents à l'entrée, dans les zones latérales d'épandages et aux sorties du lac) semble remobilisée par les courants de fond vers les sorties, où leur épaisseur et leur consolidation en font foi. L'accumulation actuelle de ces vases noires aux sorties du lac peut aboutir à un bouchon vaseux extrêmement préjudiciable pour la navigabilité. Enfin l'envahissement du fond du lac par ces vases noires peut avoir des conséquences importantes sur la vie biologique du lac et être à l'origine d'un processus d'eutrophisation. La comparaison simultanée de l'état sédimentologique des trois sorties d'eau du lac Débo et de leur niveau d'hydraulicité donne un argument supplémentaire pour penser que la répartition spatiale du bourgou est un facteur majeur de la dynamique actuelle de sédimentation dans ce complexe lacustre. Depuis la fin des années 80, le Koli Koli s'est complètement envasé et est devenu non navigable à cause du bourgou et de l'envasement. Dans le même temps, le cône d'entrée dans le Bara Issa tend aussi à s'envaser et on constate conjointement un développement important du bourgou. Finalement, seule la sortie de l'Issa Ber reste aujourd'hui navigable sans problème majeur. En fait, à la faveur de la sécheresse – et donc de la baisse des hauteurs de crue –, le bourgou a pu coloniser le lac vers le lit. Cette succession de faibles niveaux d'eau a permis au bourgou de s'installer durablement vers le centre du lac, et plusieurs années sèches consécutives ont permis la formation de dépôts argileux à vaseux et organiques au droit des colonies de bourgou qui, ralentissant les écoulements, favorisent la sédimentation fine. De plus, cela a été accentué par le fait que le bourgou est maintenant souvent cultivé, ce qui est tout à fait nouveau. Ensuite, malgré le retour d'années à fortes crues (comme en 1994), les nouveaux sédiments accumulés au niveau du bourgou sont protégés et restent en place malgré leur faible tassement. Ainsi seule la sortie du lac la plus large – et donc où les écoulements sont les plus forts – a pu résister efficacement contre l'envahissement par le bourgou, à l'opposé de ce qui s'est passé à l'entrée du Koli Koli et maintenant à l'entrée du Bara Issa. Cependant la plus grande partie des vases noires (en provenance des zones latérales d'épandages à proximité des îlots du lac) se retrouve sous la forme d'un bouchon vaseux à l'entrée de l'Issa Ber du fait de la concentration de plus en plus

importante des écoulements sur cette sortie, processus pouvant à terme devenir dangereux pour l'équilibre trophique de l'ensemble du lac.

Conclusion

26 Le fonctionnement hydrosédimentologique du lac Débo est donc fortement dépendant de l'hydraulicité du fleuve Niger. En effet, les fortes valeurs en ^{137}Cs dans les sédiments quelle que soit la profondeur démontre d'une part, une sédimentation actuelle dans ce complexe lacustre situé au centre du delta intérieur du Niger, et d'autre part que tous les sédiments aujourd'hui présents dans le lac sont postérieurs aux années 60. Avant les années 60, les sédiments, qui étaient sablo-argileux à argilo-sableux, se déposaient majoritairement à l'entrée du lac à la faveur de la baisse du courant, puis étaient évacués d'une année sur l'autre à la faveur des courants de fond relativement importants. Mais les années consécutives de sécheresse pendant plus de deux décennies depuis 1970 ont permis une colonisation de plus en plus importante du lac par le bourgou, qui a favorisé la sédimentation fine et organique dans le lac et empêché la reprise des dépôts par les courants de fond. Ainsi, les dépôts sédimentaires, constitués à l'origine de sables limoneux, sont aujourd'hui des argiles limoneuses à fortes teneurs de matières organiques, donnant lieu à des vases noires qui tendent à coloniser l'ensemble du fond du lac et à s'accumuler à la sortie principale au niveau de l'Issa Ber, sous forme d'un bouchon vaseux qui pourrait à terme aboutir à la fermeture du lac.

Remerciements

27 Ce travail a été réalisé dans le cadre de la zone atelier Zadin avec le soutien du GIP-Hydrosystème (du Ministère de la recherche, Paris), du projet de recherche Gihrex (du département Milieux et environnement de l'IRD) et du projet « Techniques isotopiques appliquées aux études sur le dynamique des sédiments » de l'AIEA.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bonté P., 1999 – *Rapport de mission AIEA : évaluation radio-isotopique de l'érosion et du transport sédimentaire en zones soudano-sahéliennes au Mali (nov. 1999).* Études et rapports Gihrex, ER44, IRD, Bamako, Mali, 40 p.

Bricquet J.-P., Mahé G., Bamba F., Diarra M., Mahieux A., Des Tureaux T., Picouet C., 1997 – « Erosion et transport particulate par le Niger : du bassin supérieur à l'exutoire du delta intérieur (bilan de cinq années d'observation) ». *In : Regional hydrology : concepts and models for sustainable water resource management,* IAHS publ., 246 : 335-346.

Gourcy L, 1994 – *Fonctionnement hydrogéochimique de la cuvette lacustre du fleuve Niger (Mali).* Thèse doct., univ. Paris-XI, 271 p.

Murray A. S., Marten R., Johnston A., Martin P., 1987 – Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry. *J. Radioanal. Nucl. Chem.,* 115 : 263-288.

Orange D., 2000 – *Rapport d'activité Zadin, année 1999 (GIP-Hydrosystème, Paris).* Études et rapports Gihrex, ER48, IRD, Bamako, Mali, 33 p.

Picouet O, 1999 – *Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé : le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur.* Thèse doct. Sciences, univ. Montpellier, 454 p.

Sogon S., 1999 – *Érosion des sols cultivés et transport des matières en suspension dans un bassin versant de Brie. Application des traceurs radioactifs naturels et magnétiques.* Thèse doct., Géographie, univ. Paris-I, 304 p.

Walling D. E., Quine T. A., 1990 – Calibration of caesium-137 measurements to provide quantitative erosion rate data. *Land Degradation and Rehabilitation,* 2 : 161-175.

Walling D. E., Quine T. A., 1995 – "Use of fallout radionuclide measurements in soil erosion investigations". *In : Nuclear and related techniques in soil-plant studies on sustainable agriculture and environmental preservation,* proc. int. symp., Vienne, 17-21 octobre 1994, IAEA et FAO : 597-619.

Walling D. E., He Q., Quine T. A., 1995 – "Use of caesium-137 and lead-210 as tracers in soil erosion investigations". *In : Tracer technologies for hydrological systems,* IAHS publ., 229 : 163-172.

NOTES

1. Picouet C, Orange D., Mahé G., Olivry J.-C, ce volume – « Rôle du delta intérieur du fleuve Niger dans la régulation des bilans de l'eau et de sédiments ». *In : partie 2.*
2. Agence internationale d'énergie atomique.
3. Analyses effectuées au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, Gif sur Yvette, France).
4. Le bourgou est une plante aquatique qui désigne principalement l'espèce *Echinochloa stagnina* ou *gamarawel* en peul. Elle est souvent associée à une autre espèce herbacée à tige flottante, *Vossia cuspidata.* Le bourgou constitue une pâture riche et abondante dans les zones inondables. Sa croissance est en phase avec la montée des eaux et le port dressé de la plante est rendu possible par le caractère flottant des tiges.

AUTEURS

SAMUEL DIARRA

Sédimentologue. DNH, Laboratoire de sédimentologie, BP 66, Bamako, Mali,

DIDIER ORANGE

Géochimiste. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France,

PHILIPPE BONTÉ

Géochimiste. CEA, LSCE, Gif sur Yvette, France,

Les migrations latérales des poissons dans le delta intérieur du Niger

Vincent Bénech

1 Daget (1952), dans une étude sur les *Alestes* (Poissons, Characidae) du Niger moyen, souligne l'importance des migrations de poissons dans cette région. Il en distingue deux sortes : les migrations « latérales » qui s'effectuent du lit mineur vers la périphérie de la plaine inondée puis de celle-ci vers le lit mineur ; les migrations « longitudinales » qui s'effectuent dans le lit mineur soit en remontant, soit en descendant le courant. Cet auteur précise que ces deux catégories de migrations ne sont pas liées à la reproduction mais aux variations de volume d'eau disponible et à la recherche de la nourriture. Les migrations latérales ont une importance majeure dans l'exploitation par les poissons des systèmes fluviaux à zones d'inondation adjacentes. Dans le delta intérieur du Niger, les zones d'inondation jouent un rôle essentiel en tant que nurseries ou frayères/nurseries pour la plupart des espèces de l'ichtyofaune (Daget, 1954).

2 Dans cet article, les caractéristiques des migrations latérales du delta intérieur ont été étudiées depuis la mise en eau de la plaine jusqu'à la décrue, au niveau d'un petit système comprenant une mare relativement isolée car reliée au fleuve pendant une grande partie de l'inondation par un unique chenal (fig. 1). La mise en œuvre d'un échantillonnage régulier des poissons au niveau du chenal devait permettre, par un contrôle des entrées et des sorties, d'atteindre deux objectifs : d'une part, préciser pour chaque espèce la chronologie de la colonisation et de la décolonisation de la plaine inondée et les différents stades biologiques impliqués (alevins, juvéniles, reproducteurs) ; d'autre part, établir la relation entre ces mouvements migratoires et certains facteurs du milieu tels que la dynamique de la crue, le cycle lunaire et le nycthémère connus pour jouer un rôle de premier plan dans le déterminisme de l'activité et du comportement migratoire des poissons.

3 Ce protocole expérimental a donné des résultats intéressants pour les juvéniles et les adultes de petite taille. Cependant les adultes reproducteurs n'étant pratiquement pas capturés – notamment les *Tilapias* et les *Clarias* –, ces derniers ont fait l'objet d'un suivi par

radiopistage permettant de suivre leur itinéraire et de connaître les spécificités de l'utilisation spatio-temporelle qu'ils font de la plaine inondée.

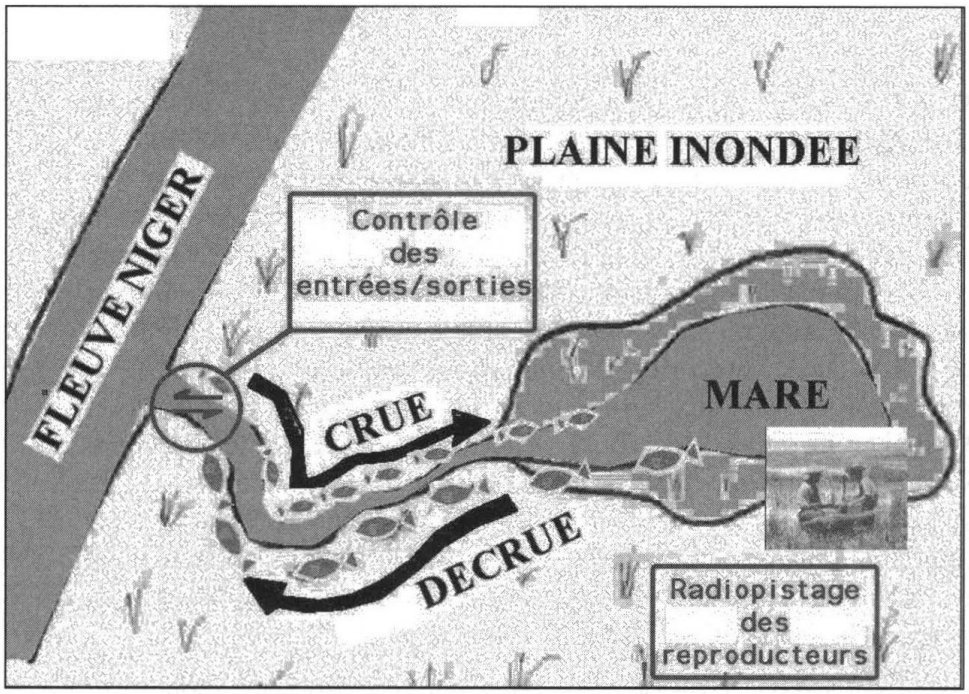


Figure 1. Présentation schématique du système hydrologique de la mare de Débaré et de son fonctionnement, du sens des migrations latérales des poissons, et des méthodes et techniques mises en œuvre pour étudier les mouvements migratoires entre le fleuve et la plaine inondée.

Le milieu

4 La mare de Débaré, où se situe notre étude, correspond à un sous-système du vaste ensemble fleuve-plaine inondée du delta intérieur du Niger. Elle est située près du village de Batamani (14°53'N ; 4°03'O), à proximité du fleuve Niger, 50 km en aval de Mopti. C'est une mare permanente de 70 ha environ. Réalimentée à chaque crue, elle est alors reliée aux zones inondées périphériques et à un bras du fleuve par un chenal d'amenée d'eau long de 150 m et large de 3 à 4 mètres (fig. 1). Ce sous-système est plus ou moins individualisé selon l'importance de la crue qui, avec la pluviométrie locale, détermine les caractéristiques hydrologiques annuelles. La crue envahit la mare début août et elle se remplit en une quinzaine de jours. Le maximum de crue est atteint mi-octobre. Le retrait des eaux de la plaine s'amorce début novembre avec l'inversion du sens du courant dans le chenal.

5 Des eaux libres de la mare (zone la plus profonde) vers la périphérie de la zone inondée, on distingue successivement : la bourgoutière à *Echinochloa stagnina* et *Vossia cuspidata,* la zone à nénuphars (*Nymphea sp.*) et l'orizaie à *Oriza longistaminata.* La vétiveraie, formation végétale naturelle la plus faiblement inondée, n'existe pas ici ; par contre, les rizières occupent des superficies importantes (158 ha en 1988, d'après l'OPM[1]).

Matériels et méthodes

Échantillonnage des entrées-sorties des juvéniles et adultes de petite taille

6 Dans le chenal d'alimentation de la mare, à partir de mi-août et jusqu'à mi-décembre, un cycle de captures sur 24 h a été réalisé par périodes de 3 h, très régulièrement chaque semaine en 1991 et de façon plus sporadique en 1994 et 1996. Deux verveux (maille de 8 mm de côté) barrant tout le chenal échantillonnaient les migrations latérales simultanément et en sens inverse, l'un vers la plaine, l'autre vers le fleuve. Ce protocole d'échantillonnage a permis d'observer les variations d'intensité migratoire à différents pas de temps pour mettre en évidence les schémas d'organisation des rythmes nycthéméraux, lunaires et saisonniers.

Radiopistage des géniteurs de Clarias

7 Le radiopistage a été utilisé sur des géniteurs de *Clarias anguillaris* pendant les deux périodes d'inondation 1997 et 1998. Les poissons, capturés par les pêcheurs locaux alors qu'il pénétraient dans la zone inondée pour s'y reproduire, étaient équipés d'un émetteur puis relâchés en bordure de la mare. Ainsi sept reproducteurs ont pu être suivis pendant plusieurs cycles de 24 h grâce à cet émetteur implanté dans la cavité abdominale, et dont la portée d'émission était de 300 m environ. Les localisations des poissons ont été réalisées en utilisant une petite embarcation équipée d'un moteur électrique silencieux. A chaque repérage du poisson suivi, le micro-site visité faisait l'objet d'une description du milieu (profondeur, profil de température et d'oxygène dissous, végétation). L'itinéraire des poissons et les caractéristiques des habitats fréquentés ont pu ainsi être déterminés.

Résultats

Contrôle des flux migratoires au niveau du chenal

8 Toutes les espèces sont loin de se comporter de la même façon dans le domaine des migrations latérales. Ainsi pour l'ensemble de la saison d'échantillonnage, le rapport des effectifs des captures de sorties sur celui des entrées est très variable d'une espèce à l'autre : plus de 100 chez *Hemisynodontis,* 1,29 chez *Brycinus leuciscus* et 0,45 chez *Bagrus bayad.* On constate également des différences dans le schéma d'organisation migratoire au niveau du nycthémère et de la saison hydrologique.

Rythme nycthéméral

9 On distingue un groupe d'espèces à tendance diurne et un groupe nocturne (fig. 2). Par exemple, chez *Brycinus leuciscus,* les captures dominent la journée mais persistent à faible intensité pendant la nuit, comme pour la plupart des Characidés. En revanche, les *Bagrus bayad* sont capturés essentiellement de nuit, comme la plupart des siluriformes et des Mormyridés. Le tableau 1 donne la liste des espèces diurnes et nocturnes.

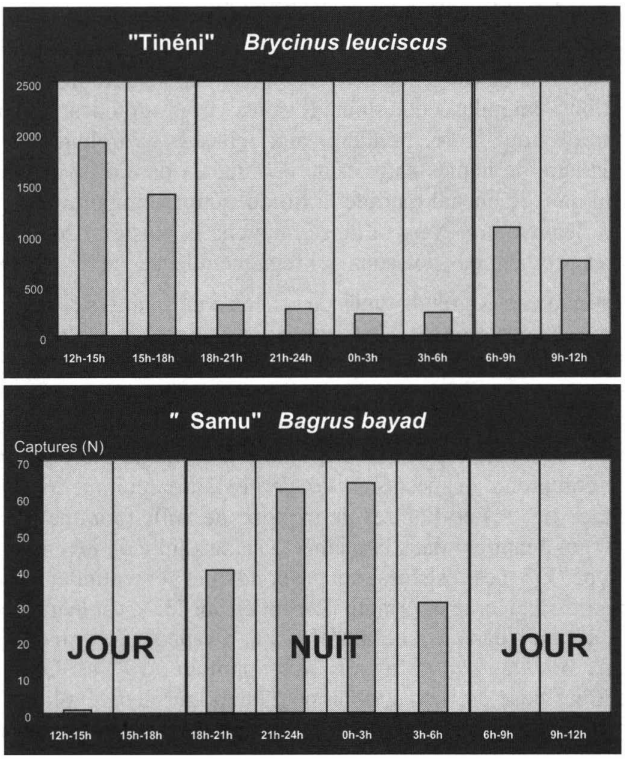


Figure 2. Variations nycthémérales de l'abondance des migrations latérales du fleuve vers la plaine de *Brycinus leuciscus,* espèce diurne (haut), et de *Bagrus bayad,* espèce nocturne (bas).

Tableau 1. Liste des espèces de poissons diurnes et nocturnes.

Espèces diurnes	*Alestes spp., Brycinus leuciscus, Hydrocynus spp., Tilapia spp., Distichodus spp., Labeo sengalensis, Citharinus citharus, Barbus spp.*
Espèces nocturnes	*Hyperopisus bebe, Marcusenius senegalensis, Pollimyrus isidori, Brienomyrus niger, Petrocephalus bovei, Chrysichthys auratus, Bagrus bayad, Clarias spp., Hemisynodontis membranaceus*

Patron d'abondance saisonnière

10 L'analyse des effectifs spécifiques des entrées/sorties de la plaine inondée a mis en évidence deux clivages dans le déroulement des migrations latérales, déterminant ainsi trois grandes périodes migratoires qui correspondent aux phases hydrologiques de remplissage, de hautes-eaux et de décrue. La date d'inversion du courant dans le chenal marque la fin de captures importantes dans le sens fleuve/mare. A partir de ce moment, la plus grande part des captures provient des poissons qui regagnent le fleuve.

11 On distingue deux grands types de schémas migratoires :

- le type A : ces espèces adoptent un schéma migratoire qui suit le mouvement des eaux, à savoir une prépondérance des entrées au moment du remplissage de la mare, remplacée par celle des sorties dès la décrue ; il semble que ces espèces réalisent une occupation optimale du milieu aquatique disponible. Ce groupe est hétérogène car il comprend des espèces de

petite taille (comme *Brycinus leuciscus,* fig. 3a) et d'autres de très grande taille (comme *Bagrus bayad*) qui pénètrent dans la plaine au stade adulte ou juvénile ;

- le type B : ces espèces sont abondantes essentiellement au moment de la décrue et principalement en sortie ; c'est le groupe le plus nombreux dans lequel la proportion d'espèces de grande taille (comme *Auchenoglanis,* fig. 3b) est importante (9/14). La rareté des entrées pose problème, et on peut envisager deux explications. Dans le cas des espèces typiques des mares comme *Brienomyrus niger* et *Clarias,* le stock résiduel de la mare est important et permet le repeuplement. Pour les autres espèces, l'entrée passerait inaperçue car elle se situerait au tout début de la mise en eau (période non échantillonnée) ou bien les alevins colonisateurs seraient trop petits pour être arrêtés par la maille des verveux (de 8 mm de côté).

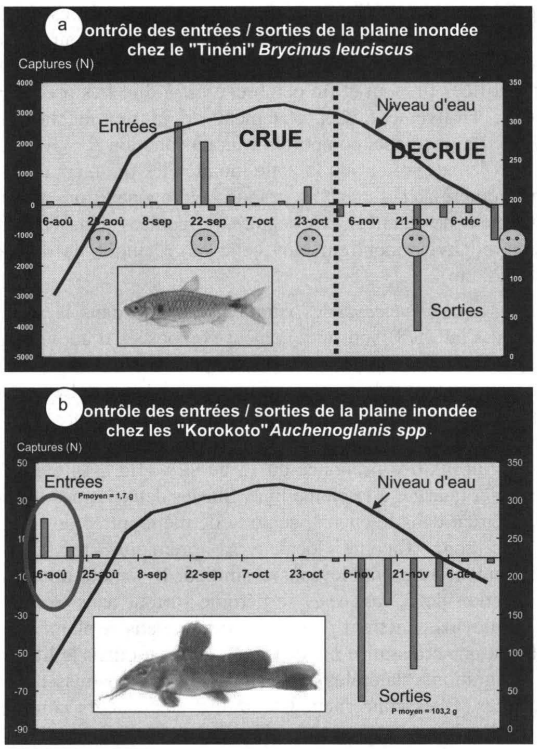


Figure 3. Variations saisonnières d'abondance des entrées (histogrammes vers le haut) et des sorties (histogrammes vers le bas) dans le chenal d'alimentation de la mare : (a) des *Brycinus leuciscus* ; (b) des *Auchenoglanis spp.* Les variations d'abondance sont mises en relation avec les phases hydrologiques et lunaires. Le pointillé indique la date du changement de sens du courant dans le chenal.

12 Les espèces de type A sont caractérisées par plusieurs vagues de sorties après le début de la décrue. Mais en période de montée des eaux et de crue, les profils d'entrée/sortie sont assez diversifiés. Il s'agit uniquement de jeunes (pour *Lates niloticus*) ou de jeunes et d'adultes chez les petites espèces (telle *Brycinus leuciscus*).

13 D'après notre échantillonnage, les migrations latérales de *Lates niloticus* ne concernent que les stades juvéniles. Plusieurs cohortes de jeunes colonisent la zone inondée ; en 1991, deux cohortes ont été identifiées fin août et fin octobre, c'est-à-dire très précocement et assez tardivement. Cet étalement de la reproduction est à l'origine de différents comportements en fonction de l'hydrologie (les plus jeunes sortent de la zone inondée les premiers et en plus grand nombre), et d'une très grande hétérogénéité des tailles du

recrutement de l'année. Les captures effectuées dans la mare en décembre-janvier montrent bien cette large amplitude des tailles (de 6 à 22 cm).

14 Pour *Brycinus leuciscus,* les captures d'entrée dans la mare (du 16/8 jusqu'au 25/8) sont uniquement composées d'adultes qui ne sont pas en maturation avancée et ne pénètrent donc pas dans la mare pour s'y reproduire, du moins immédiatement. Les femelles ont sans doute déjà pondu dans le fleuve ; dès septembre, elles sont en repos ovarien. L'entrée des jeunes *B. leuciscus* dans la mare présente un pic très prononcé du 15 au 22/9 (fig. 3a), c'est-à-dire du premier quartier à la pleine lune. Sur les deux vagues de jeunes qui pénètrent dans le chenal, seule la dernière entrée doit être née dans la zone fluviale locale ; sa première croissance est apparemment assez faible dans ce milieu. Il semble donc que la reproduction de *B. leuciscus* se déroule surtout dans le fleuve et que les alevins pénètrent plus ou moins tôt dans la plaine inondée où ils ont une croissance meilleure qu'en restant dans le lit mineur. Les migrations latérales de *B. leuciscus* paraissent assez complexes. Elles concernent les adultes et plusieurs cohortes de jeunes d'origine locale et de dévalaison, qui réaliseraient une colonisation de la plaine inondée tout en suivant le déplacement de la crue. Les séquences d'activité migratoires paraissent influencées à la fois par l'hydrologie et par le cycle lunaire (fig. 3a).

15 Le type migratoire B comprend de nombreuses espèces d'intérêt halieutique et présente les schémas migratoires les plus simples, comme celui d'*Auchenoglanis occidentalis* (fig. 3b). Les jeunes *Auchenoglanis* de 3 à 4 cm colonisent la mare dès la mise en eau ; leur importance diminue du 16 au 25/8 dans les captures du verveux. L'espèce ne réapparaît qu'après l'inversion du courant le 6/11 ; la taille moyenne de 16 cm indique une croissance élevée pendant le séjour dans la plaine inondée. La longueur moyenne diminue de novembre à décembre à mesure que la décrue s'avance (phénomène commun pour les jeunes des plaines d'inondation).

16 Ces caractéristiques ont été constatées dans les captures de la pêche traditionnelle de décrue. D'après les pêches du peuplement résiduel (en fin de saison sèche), une partie de la population reste dans la mare où elle est complètement exploitée par les pêches d'étiage. Le renouvellement du stock de cette espèce est donc assuré obligatoirement à partir d'une reproduction fluviale. Mais la compréhension des migrations latérales en fonction du cycle biologique et des différentes écophases n'est pas aussi simple pour toutes les espèces de ce groupe. Si la sortie de la plaine inondée est bien claire, l'entrée dans la mare des jeunes ou des reproducteurs n'a pas pu être mise en évidence chez plusieurs espèces, comme notamment *Hemisynodontis membranaceus* ou encore *Citharinus citharus.*

Le comportement des adultes de *Clarias anguillaris*

17 L'échantillonnage au verveux ayant été très peu performant pour *Clarias,* les géniteurs de cette espèce ont été suivis par radiopistage (comme indiqué en figure 4). Quatre individus, équipés d'émetteurs et relâchés en bordure de mare, sont retournés au fleuve seulement trois jours plus tard, les autres ayant mis entre 12 et 21 jours. La mobilité varie beaucoup selon les individus, qui ont parcouru un trajet quotidien moyen de 143 à 7 260 m. Des vitesses de 3,5 km h^{-1} ont été enregistrées pendant 13 à 21 minutes ; ces vitesses élevées furent observées entre 12 :00 h et 01 :00 h, sans influence apparente de l'alternance jour/nuit. Des rassemblements de poissons n'ont pas été constatés, sauf dans le cas du suivi d'une femelle à reproduction activée par une injection d'hormone (HCG), observée en

groupe pendant la nuit dans une zone peu profonde mais sans comportement de fraie bien évident.

18 La température du poisson a toujours été quasiment égale à celle du fond, indiquant la situation benthique habituelle de l'espèce. Les aires de repos étaient principalement situées dans les zones d'eau libre les plus profondes, et secondairement dans les zones de moins de 1,5 m partiellement ou complètement recouvertes par les hélophytes (*Echinochloa stagnina* et *Vossia cuspidata*). Ces *Clarias* reproducteurs ont été rarement localisés dans les rizières (fig. 4).

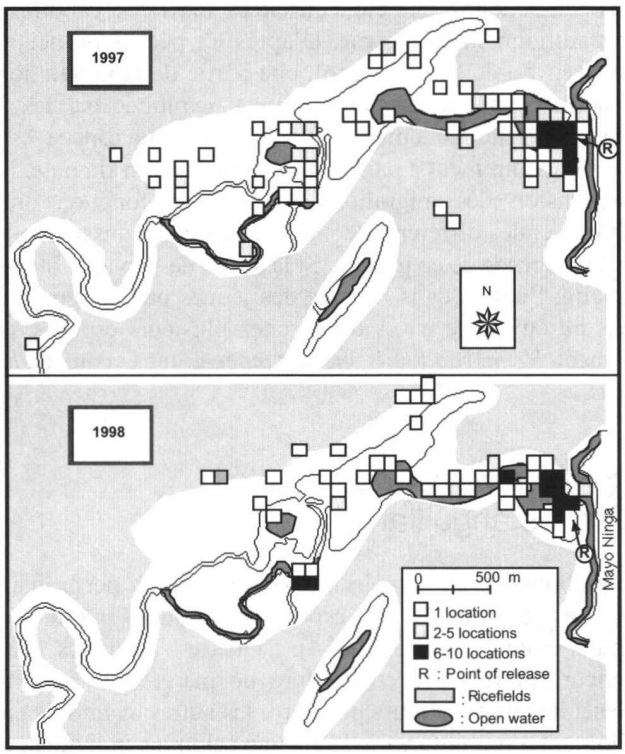


Figure 4. Localisations des géniteurs de *Clarias anguillaris* suivis par radiopistage dans la plaine inondée en août-septembre 1997 et 1998. Ces poissons fréquentent plus particulièrement les zones d'eau libre les plus profondes et les zones de moins de 1,5 m plus ou moins recouvertes d'hélophytes, mais très rarement les rizières.

Discussion et conclusion

19 Contrairement à la plupart des études sur les migrations latérales (Welcomme, 1979), les déplacements des poissons sont ici étudiés simultanément dans les deux sens et concernent aussi les individus de toute petite taille (jeunes et espèces de petite taille) qui sont ignorés lorsqu'on n'observe que les captures des pêcheries. La mise en place d'un échantillonnage particulier a permis de décrire avec précision le déroulement des migrations en relation avec le cycle nycthéméral et l'évolution hydrologique saisonnière, et notamment les déplacements vers la plaine pendant la montée des eaux (phase migratoire généralement moins étudiée). Enfin l'utilisation du radiopistage a permis de compléter les investigations sur *Clarias,* espèce prépondérante dans les pêcheries mais très peu vulnérable à nos techniques d'échantillonnage pour le contrôle des entrées/ sorties de la plaine inondée.

20 On observe deux types d'activité migratoire (diurne et nocturne) bien tranchés chez certaines espèces. En général, les Characidés sont diurnes tandis que les Siluriformes et les Mormyridés sont nocturnes. Une vague de colonisation massive a été identifiée en fin de montée rapide du niveau d'eau mi-septembre. Le mouvement en sens inverse, sous l'influence immédiate du renversement du sens du courant – correspondant au signal de décrue – est également bien évident. Mais pour certaines espèces, à l'aller comme au retour, la migration ne se développe vraiment qu'au moment de la phase lunaire qui paraît correspondre à une activité plus intense ; c'est le cas pour *Brycinus leuciscus* (Daget 1952 ; Ghazaï *et al.*, 1991), qui migre surtout en phase de premier quartier et de pleine lune.

21 L'analyse des différents comportements spécifiques montre que la plupart des espèces de grande taille s'engagent et séjournent dans la plaine inondée pour s'y reproduire et pour y croître fortement. Par contre, l'échantillonnage au verveux a mis en évidence l'importance de la colonisation par les très jeunes stades dès le début de la mise en eau (août). La reproduction aurait donc lieu essentiellement dans le fleuve, la plaine inondée jouant ici un rôle prépondérant de nurserie, et non de frayère, pour ces espèces qui présentent un grand intérêt halieutique (*Auchenoglanis, Mormyrus, Bagrus, Lates*). La colonisation s'effectue par plusieurs vagues de jeunes qui pénètrent successivement dans la plaine. Ce phénomène qui existe même chez les espèces à reproduction annuelle unique est un mécanisme d'ajustement temporel pour une optimisation de l'utilisation de la période favorable au recrutement. C'est une adaptation aux modifications récurrentes des caractéristiques de la crue. En fait, nous retrouvons dans le delta intérieur du Niger des résultats comparables à ceux des études effectuées dans d'autres plaines d'inondation, notamment le Yaéré du Nord-Cameroun (Durand, 1970, 1971 ; Bénech et Quensière, 1982, 1983). Ici encore, on constate une organisation chronologique des migrations latérales en séquences spécifiques bien précises sous l'influence primordiale de l'hydrologie et en accord avec des rythmes biologiques basés sur le cycle lunaire et le nycthémère. Les pêcheurs ont d'ailleurs établi leur calendrier de pêches de décrue en tenant compte très précisément de ces phénomènes biologiques (Daget, 1952).

22 Utilisé pour la première fois au Mali, le radiopistage a permis de suivre les adultes de *Clarias anguillaris* à l'intérieur de la plaine inondée. Les localisations par radiopistage montrent une large occupation de tous les habitats benthiques de la plaine inondée et des chenaux à l'exception des rizières. L'absence de rassemblements typiques des reproducteurs en pleine saison de reproduction, et les trajets individuels qui aboutissent toujours à un retour au fleuve, suggèrent que ces reproducteurs ont montré simplement un comportement exploratoire. La zone ainsi prospectée ne devait certainement pas convenir à la fraie ; celle-ci pourrait être limitée aux zones fraîchement inondées situées le long des rives du fleuve et des principaux chenaux. Les migrations latérales constituent le mécanisme fondamental des performances de la production piscicole dans ce système fluvial à zones inondées adjacentes. Bien qu'on ne puisse accorder une grande fiabilité au rapport pondéral des sorties sur les entrées estimé à plus de six fois dans le cas de notre échantillonnage, il est bien évident que ce facteur multiplicatif est très élevé. Il résulte surtout de la croissance qui est considérable en seulement deux à trois mois de séjour dans la plaine inondée, et pour certaines espèces, de la reproduction qui a également lieu dans ce milieu. Même si les migrations latérales sont déjà exploitées par les pêches traditionnelles, l'alevinage naturel des plaines inondées doit être favorisé en en laissant le libre accès aux juvéniles aux périodes de colonisation intense. Ceci n'est pas forcément en

accord avec le contrôle de la montée du niveau d'eau de certains plans d'eau utilisés pour la production du riz.

23 En conclusion, malgré le caractère ponctuel de notre échantillonnage et les imperfections des engins de capture que nous avons utilisés, cette étude met en évidence les principales caractéristiques des migrations latérales, certainement valables pour l'ensemble du delta et qui peuvent être retenues comme impératifs biologiques à prendre en compte pour la conservation et la mise en valeur du potentiel piscicole de cette région.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bénech V., Quensière J., 1982 – Migrations des poissons vers le lac Tchad à la décrue de la plaine inondée du Nord-Cameroun. I – Méthodologie d'échantillonnage et résultats généraux. *Rev. Hydrobiol. trop.,* 15 (3) : 253-270.

Bénech V., Quensière J., 1983 – Migrations des poissons vers le lac Tchad à la décrue de la plaine inondée du Nord-Cameroun. Il – Comportement et rythmes d'activité des principales espèces. *Rev. Hydrobiol. trop.,* 16 (1) : 79-101.

Daget J., 1952 – Mémoire sur la biologie des poissons du Niger Moyen. I – Biologie et croissance des espèces du genre *Alestes. Bull. IFAN,* 14(1) : 191-225.

Daget J., 1954 – *Les poissons du Niger supérieur.* Mém. Inst. Fr. Afr. Noire, 36, 391 p.

Durand J.-R., 1970 – Les peuplements ichtyologiques de l'EI Beïd, première note : présentation du milieu et résultats généraux. *Cah. Orstom,* sér. Hydrobiol., 4(1) : 3-26.

Durand J.-R., 1971 – Les peuplements ichtyologiques de l'EI Beïd, 2e note : variations inter et intra-spécifiques. *Cah. Orstom,* sér. Hydrobiol., 5 (2) : 147-159.

GhazaïM. A., Bénech V., Paugy D., 1991 – L'alimentation des *Brycinus leuciscus* (Teleostei : Characidae) au Mali : aspects qualitatifs, quantitatifs et comportementaux. *Ichthyol. Explor. Freshwaters,* 2 (1) : 47-54.

Welcomme R. L. 1979 – *Fisheries ecology of floodplain rivers.* London, Longman, 317 p.

NOTES

1. Opération pêche Mopti

AUTEUR

VINCENT BÉNECH

Ichtyologue. IRD, 213 rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France,

Horloge biologique, inondation et pullulations de rongeurs

Bruno Sicard et Wamian Diarra

1 Nombre d'espèces de rongeurs ravagent les cultures et/ou sont des vecteurs de maladies. Ces nuisances sont dramatiques les années où certaines de ces populations pullulent. Les services de protection des végétaux des pays sahéliens, ne disposant pas d'un système d'alerte précoce, engagent une lutte curative basée sur des épandages massifs de rodenticides (Feilder, 1988 a ; Sicard, 1995 a). Cette réaction agressive pour l'environnement est peu utile car les pullulations déclenchent de puissants mécanismes de normalisation démographique (Conway, 1981 ; Poulet, 1982). On pense, en effet, que le stress engendré par les fortes densités déclenche une augmentation de l'agressivité, un effondrement reproductif et des perturbations comportementales qui amplifient l'impact des prédateurs. C'est pourquoi nombre d'expertises insistent sur la nécessité de prévoir les pullulations pour intervenir en amont (Singleton *et al.*, 1999). LTRD, en partenariat avec la recherche au Sud et au Nord, étudie donc les mécanismes des pullulations pour caractériser les situations à risque. La valorisation des résultats nécessitant l'élaboration d'un réseau d'alerte sahélien, une collaboration est nécessaire avec l'unité de coordination technique régionale de protection des végétaux (UCTR/PV) de l'Institut du Sahel rattaché au Comité inter-Etat de lutte contre la sécheresse au Sahel (Cilss) (Sicard *et al.*, 1995).

2 Les suivis de populations de rongeurs réalisés en Afrique (Hubert *et al.*, 1978 ; Poulet, 1980, 1982, 1985 ; Hubert et Adam, 1983, 1985 ; Fielder, 1988 b ; Sicard *et al.*, 1994, Sicard, 1995 b ; Leirs, 1995 ; Leirs *et al.*, 1997) montrent qu'il existe des « déclencheurs de pullulation » à différents niveaux d'organisation du vivant (Leirs, 1999). Ainsi les pullulations accompagnent souvent des perturbations du climat qui touchent toute la région sahélienne (*i.e.* retour de la pluviométrie ou sécheresse). Elles peuvent coïncider avec un effondrement de la compétition, de la prédation et/ou de la pression parasitaire au sein des peuplements, ou apparaître avec des changements dans la structuration génétique, démographique ou sociale des populations. Les modèles actuellement élaborés (conceptuels, régressifs ou démographiques) considèrent tous l'impact de tels « phénomènes déclencheurs » sur la mortalité, la reproduction et/ou la mobilité. On sait

que la reproduction et la mobilité sont contrôlées par une « horloge interne » selon des mécanismes spécifiques. Et cette spécificité pourrait expliquer la diversité des réponses démographiques des espèces à un même phénomène « déclencheur de pullulation » (Sicard *et al.*, 1999 a).

3 Presque tous les êtres vivants ont une horloge interne qui, chez les rongeurs, est composée des noyaux suprachiasmatiques (NSC) et de la glande pinéale (GP). Certains neurones des NSC expriment des « gènes-horloge » propre à chaque espèce avec une période circadienne (proche de 24 h). Synchronisés sur 24 h par l'alternance jour-nuit, *via* la rétine, les NSC contrôlent nombre de cycles physiologiques et comportementaux (mobilité, alimentation, sexualité) par rapport au cycle jour-nuit mais aussi par rapport à d'autres cycles non-photiques capables de moduler leur activité (facteurs sociaux, activité motrice, régime hypocalorique). La glande pinéale (GP) produit de la mélatonine pendant la nuit. Cette glande module en fonction des saisons (*via* les récepteurs à mélatonine des NSC) le contrôle des fonctions journalières (cycles annuels de reproduction et de dispersion). D'autres facteurs, non-photiques (température, humidité, ressources trophiques) influencent aussi l'activité de cette glande. Retenons que l'horloge perçoit la variabilité environnementale (*input*) et contrôle en conséquence les cycles biologiques (*output*). Nos recherches expérimentales et les suivis de population réalisés au Burkina Faso (1984-1991) et au Mali (1992-1999) permettent de mieux comprendre les mécanismes par lesquels l'horloge est impliquée dans la régulation de la reproduction, dans l'adaptation à la variabilité de l'environnement et dans le déterminisme des pullulations. Des exemples seront choisis pour illustrer ces aspects en soulignant les particularités des espèces des zones inondables.

Considérations méthodologiques

4 Les suivis de terrain ont permis de décrire des cycles relatifs à la biologie des populations (abondance, mobilité *vs* sédentarité, dispersion *vs* regroupement, état sexuel et état métabolique) qui sont corrélés à des cycles de l'environnement (photopériode, température, humidité, activités humaines, périodes de restriction trophique et/ou d'inondation). La valeur causale de ces corrélations a été étudiée en laboratoire sur des animaux issus des populations suivies et élevés dans des conditions (éclairement, alimentation, température et humidité) choisies en relation avec celles observées sur le terrain. Les méthodes utilisées (Sicard, 1987 ; Sicard *et al.*, 1985, 1988b, 1993 ; Kyelem et Sicard, 1994 ; Fuminer, 1993 ; Fuminer *et al.*, 1993) sont résumées ci-après.

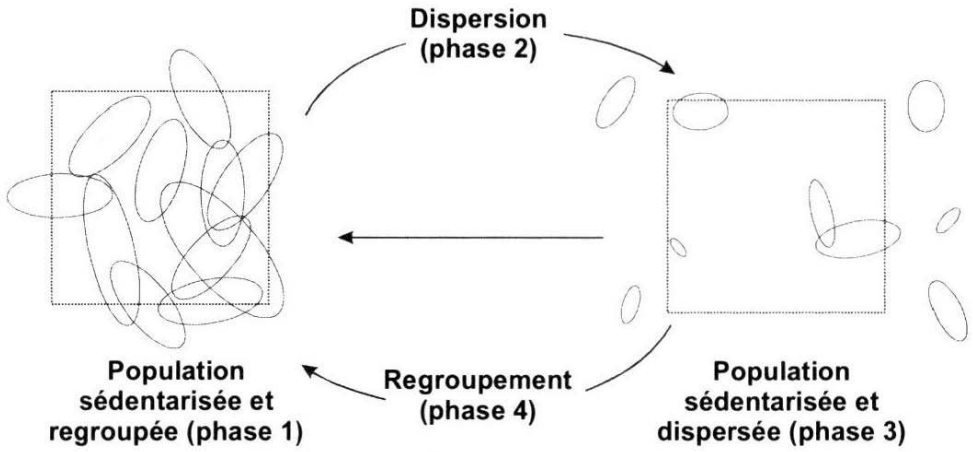


Figure 1. Les quatre phases du « cycle annuel de mobilité ».

5 L'analyse des positions de capture d'individus marqués et relâchés dans des dispositifs de piégeage à maille régulière a permis de suivre la dynamique des populations (cycles annuels d'abondance). L'analyse des domaines d'activité (surface, recouvrement et déplacement), du ratio migrants/résidents et de la structure des terriers a permis de suivre le cycle annuel de dispersion des populations qui, dans son expression complète, comporte 4 phases (fig. 1). L'analyse des contenus stomacaux a permis de suivre le cycle annuel alimentaire, en distinguant les aliments riches en eau (végétaux, arthropodes) et pauvres en eau (graines, écorces et résidus). La technique à l'eau tritiée a permis de suivre l'évolution saisonnière de la réserve d'eau corporelle, de la balance hydrique et des vitesses de renouvellement de l'eau. La quantification par immunohistochimie de l'activité vasopressinergique des noyaux supraoptiques (NSO), paraventriculaires (NPV) et des NSC a permis de suivre l'évolution de l'activité anti-diurétique (*i.e.* mobilisation des mécanismes d'économie de l'eau). L'analyse des pourcentages d'adultes sexuellement actifs, et de jeunes, du nombre de cicatrices embryonnaires, des cycles œstriens (frottis vaginaux), des stéroïdes sexuels (radioimmunologie) et de l'activité GnRH de 1'éminence médiane (immunohistochimie) a permis de déterminer les cycles de reproduction.

Quatre modèles de régulation

6 Les rongeurs occupent presque tous les habitats soudano-sahéliens. *Mastomys huberti* sera pris comme exemple d'espèce typique des zones domestiques et péri-domestiques (habitations, greniers, enclos à bestiaux, potagers) où la variabilité environnementale est amortie par les activités humaines (fig. 2a). *Arvicanthis niloticus* sera pris comme exemple d'espèce des plaines inondables (fig. 2b). *Taterillus gracilis* sera pris comme exemple d'espèce des milieux semi-arides (bas de pentes argilo-sableuses) caractérisés par une période de restriction trophique entre mars et mai (fig. 2c). *Taterillus petteri,* espèce jumelle de *T. gracilis* (Sicard *et al.*, 1988 a) sera pris comme exemple d'espèce des milieux arides (dune sableuse) où la période de restriction trophique dure toute l'année à l'exclusion de la saison pluvieuse (fig. 2d).

Mastomys huberti dans les milieux « stables »

7 Toute l'année, ces populations ont un régime alimentaire riche en eau (végétaux et insectes), un important renouvellement de l'eau corporelle et une activité anti-diurétique peu marquée (fig. 2a). Ces populations ne connaissent donc pas de restriction hydrique. Les individus sont sédentaires et regroupés. Ils habitent des terriers dont la complexité ne présente pas de variation saisonnière. La reproduction est continue et le cycle annuel d'abondance peu marqué. Ces résultats ont conduit à l'hypothèse que les ressources trophiques stimulent en permanence la reproduction et la sédentarité de ces populations (Sicard, 1987 ; Sicard et Papillon, 1996). L'étude expérimentale a confirmé que la reproduction dépend strictement des ressources et laisse penser que cet effet s'exerce *via* le métabolisme hydro-énergétique (Sicard *et al.*, 1988 b ; Sicard et Fuminier, 1996).

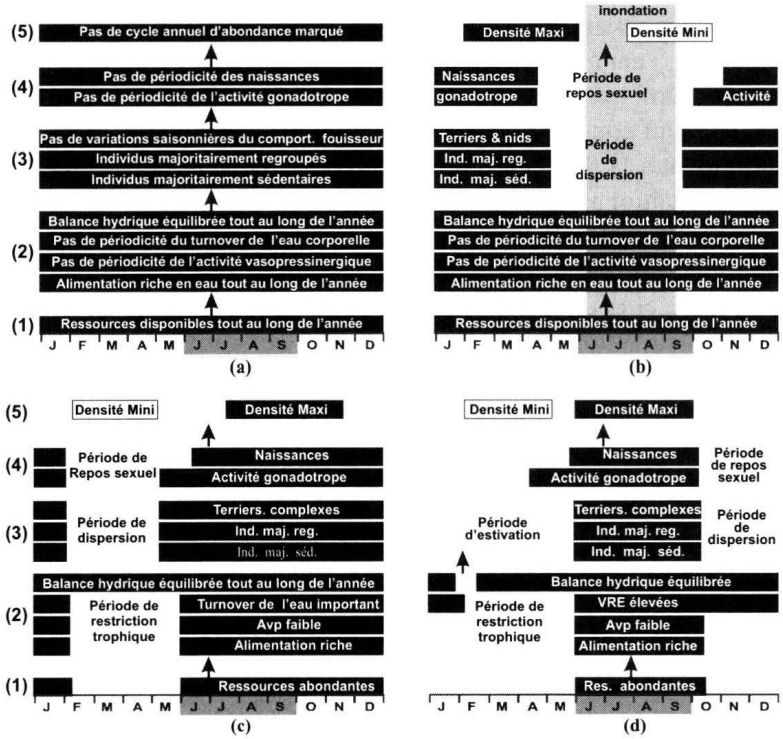


Figure 2. Corrélations entre ressources (1), métabolisme (2), mobilité (3), reproduction (4) et abondance (5), chez les 4 « modèles » étudiés à Oursi (Burkina Faso). La saison des pluies est indiquée en gris. (a) *Mastomys huberti* dans les jardins potagers. (b) *Arvicanthis niloticus* dans les bas-fonds inondables. (c) *Taterillus gracilis* dans les bas de pentes des massifs de gabbro. (d) *Taterillus petteri* sur le cordon dunaire. Redessiné d'après Sicard et Papillon (1996).

Arvicanthis niloticus dans les plaines inondables

8 Toute l'année, ces populations ont un régime alimentaire riche en eau, une activité anti-diurétique faible et un renouvellement hydrique important (fig. 2b). Une phase de dispersion et de repos sexuel coïncide avec l'inondation pendant laquelle peu de nids sont observés sur le réseau de pistes élaboré par cette espèce. En dehors de l'inondation, les individus sont sexuellement actifs, sédentaires et regroupés dans des terriers reliés à des nids de surface par des réseaux de pistes. Le cycle « reproduction et sédentarité » *vs* « repos sexuel et dispersion » est corrélé au cycle d'abondance (le maximum annuel

d'abondance coïncide avec la fin de la reproduction et le minimum avec la fin de la dispersion). Ces résultats ont conduit à l'hypothèse que des facteurs non-trophiques participent à la régulation de la reproduction et de la mobilité chez ces populations. L'étude expérimentale (Sicard, 1987 ; Sicard *et al.*, 1998 b, 1992, 1993) a montré : (i) que la combinaison jours longs, atmosphère sèche et température élevée est gonado-inhibitrice et déclenche une phase réfractaire aux facteurs gonado-stimulants (*PRFGS*) ; (ii) que la combinaison ressources abondantes, jours courts, atmosphère humide et température basse est gonado-stimulante et déclenche une phase réfractaire aux facteurs gonado-inhibiteurs (*PRFGI*).

9 Dans la nature, où seule la combinaison inhibitrice est observée les années climatiques ordinaires, la reproduction se situe de part et d'autre de la phase PRFGS (fig. 3a). Les pluies exceptionnelles de janvier-février 1986, en retardant l'assèchement de l'atmosphère et en induisant une reprise passagère de la végétation, ont généré une combinaison activatrice, et donc, une phase *PRFGI* qui a induit un allongement de la reproduction pendant toute la saison des pluies (fig. 3b), allongement probablement impliqué dans la pullulation « reproduction-dépendante » d'*A. niloticus* en 1986-1987.

10 Ces résultats confirment que les pullulations peuvent coïncider avec des « anomalies » du climat touchant des régions entières, tel le Sahel (Leirs *et al.*, 1990 ; Mutze, 1991). En 1986, des pullulations de rongeurs ont aussi été observées au Tchad et au Soudan (Fielder, 1988 a). Une même « anomalie » peut cependant engendrer des réponses démographiques différentes selon les populations (celles de *Mastomys* n'ont montré aucune réponse en 1986). Les espèces d'un même peuplement ne pullulent pas en même temps, parce qu'elles ne pullulent pas pour les mêmes raisons, les mécanismes de régulation de la reproduction étant spécifiques. Une approche biométéorologique visant à caractériser les variations inter-annuelles du profil des précipitations devrait permettre de prévoir les risques de pullulations « reproduction-dépendantes » en relation avec les connaissances acquises sur la régulation de la reproduction des espèces nuisibles (Gautun et Sicard, 1988).

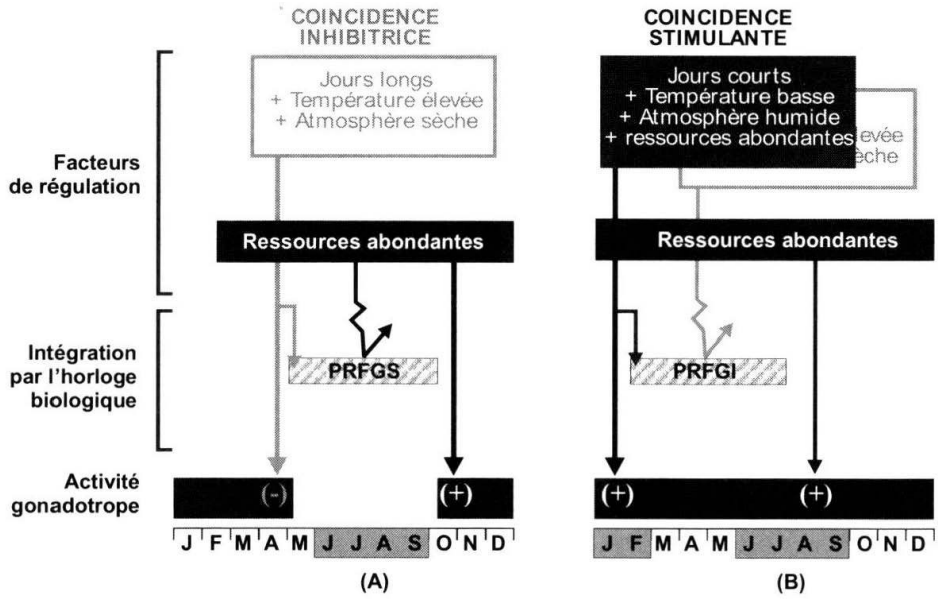


Figure 3. Régulation de la reproduction d'A *niloticus* : (A) années à pluviométrie ordinaire ; (B) année 1986 à pluviométrie atypique. PRFGS = période réfractaire aux facteurs gonado-stimulants. PRFGI = période réfractaire aux facteurs gonado-inhibiteurs. (+)=gonadostimulation ; (-) = gonado-inhibition. La saison pluvieuse et les pluies atypiques sont indiquées en gris foncé.

Taterillus gracilis dans les milieux semi-arides

11 De mars à mai, le régime alimentaire de *T. gracilis* comporte environ 70 % d'aliments pauvres en eau (graines) (fig. 2c). Alors que l'activité antidiurétique est faible et le turnover de l'eau important entre juin et février, l'activité antidiurétique augmente et le turnover de l'eau diminue de mars à mai. Cette mobilisation des mécanismes antidiurétiques qui est efficace (la balance hydrique reste équilibrée toute l'année) coïncide avec le déclenchement de la phase de dispersion et de repos sexuel pendant laquelle les individus construisent des terriers provisoires peu élaborés en forme de « L ». Avant l'arrivée des pluies, on observe un regroupement et une sédentarisation (dans des terriers complexes) qui précèdent de peu le démarrage de l'activité sexuelle. Comme dans l'exemple précédent, le maximum annuel d'abondance apparaît en fin de reproduction et le minimum d'abondance au cours de la dispersion.

12 Ces résultats ont conduit à formuler les hypothèses suivantes : (i) la dispersion et le repos sexuel sont induits par le changement alimentaire de février mais la sédentarisation et la reproduction sont déclenchées (avant les pluies) par des facteurs non trophiques ; (ii) il existe des interrelations entre les mécanismes régulateurs de la reproduction et de la mobilité (Sicard, 1987 ; Sicard et Papillon, 1996). L'étude expérimentale (Sicard, 1987 ; Sicard *et al.*, 1988 b ; Sicard et Fuminier, 1996) a confirmé l'effet gonado-stimulant des jours longs et montré que ce dernier est potentialisé par une alimentation riche et une atmosphère humide. Dans la nature, la régression d'activité sexuelle dépend donc bien de la restriction trophique saisonnière, et le démarrage de l'activité gonadotrope en avril dépend d'un effet stimulant des jours longs ; lequel est potentialisé par un facteur encore inconnu pour contrecarrer l'effet gonado-inhibiteur de la restriction trophique.

Taterillus petteri dans les milieux arides

13 L'alimentation de *T. petteri* est exclusivement granivore d'octobre à mai et herbivore-insectivore de juin à septembre (fig. 2c). La restriction hydrique d'octobre est suivie d'une intensification de l'activité antidiurétique qui coïncide avec l'arrêt reproductif et avec le début de la dispersion (comme dans l'exemple précédent). L'activité antidiurétique n'induit cependant pas une baisse significative du turnover de l'eau qui reste important jusqu'en janvier ; les dépenses hydroénergétiques liées à la dispersion sont donc probablement élevées en milieu dunaire. Pendant qu'ils se dispersent, les rongeurs construisent des terriers rudimentaires en forme de « L ». En janvier-février, les animaux se sédentarisent en parcourant un vaste domaine pour approvisionner le profond terrier qu'ils construisent. Ces activités pré-estivales augmentent encore leurs dépenses hydroénergétiques à un moment de l'année où les entrées d'eau se réduisent. L'activité antidiurétique ne permet pas d'éviter un déficit passager de la balance hydrique qui pourrait être le « signal physiologique » de 1'estivation qui apparaît fin février et dure jusqu'en mai. Les animaux restent alors pendant des phases de plusieurs semaines dans leur terrier où ils présentent de courtes périodes journalières de torpeur. L'entrée en estivation s'accompagne d'un effondrement des dépenses hydroénergétiques, d'une normalisation de l'activité du système antidiurétique et d'un rétablissement de l'équilibre hydrique. Dès juin, les individus se regroupent et se sédentarisent dans les creux interdunaires où ils construisent des terriers adaptés à la reproduction. Les hypothèses

suivantes sont alors retenues : (i) la dispersion et l'arrêt reproductif sont déclenchés par le changement alimentaire de février ; (ii) la sédentarisation (*i.e.* pré-estivation) est déclenchée par un facteur non-trophique ; (iii) le déficit de la balance hydrique est le signal physiologique qui déclenche l'estivation ; (iv) le démarrage de la reproduction est déclenché par des facteurs non trophiques ; (v) il existe des interrelations entre les mécanismes de régulation de la reproduction et de la mobilité.

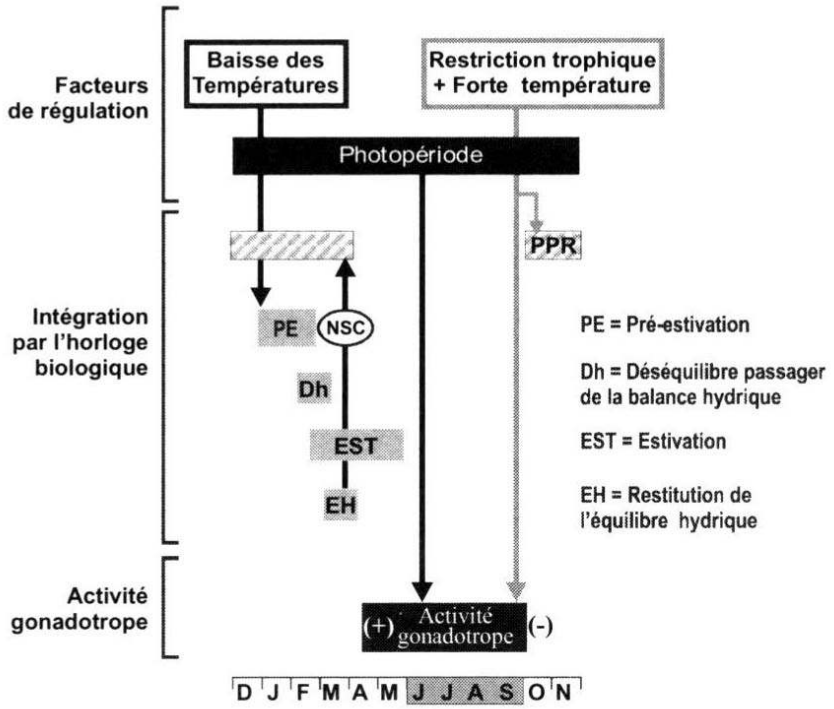


Figure 4. Régulation de la reproduction de *T. petteri.*

14 L'étude expérimentale (Sicard *et al.*, 1988 b ; Fuminier *et al.*, 1993 ; Sicard et Fuminier, 1996) a montré que le contrôle de la reproduction de *T. petteri* résulte d'une intégration (*via* l'horloge biologique) d'un grand nombre de facteurs capables de moduler un effet gonado-stimulant exercé par les jours longs (fig. 4). C'est bien la restriction alimentaire qui entraîne l'arrêt sexuel *via* le déclenchement d'une phase photo-réfractaire à l'effet stimulant des jours longs. Ce sont probablement les basses températures qui induisent la phase de sédentarisation qui est à l'origine d'une réaction en chaîne qui conduit à la levée de la phase photo-réfractaire pendant l'estivation.

Discussion

Reproduction et sédentarité

15 Les populations de *T. gracilis* et de *T. petteri* présentent une phase de reproduction et une phase de sédentarité pendant la période d'abondance trophique, et une phase de repos sexuel et de dispersion pendant la période de restriction trophique. Ces résultats, en accord avec les expériences de supplémentation alimentaire réalisées au Sénégal (Poulet *et al.*, 1981 ; Hubert *et ai,* 1981), montrent le rôle limitant du facteur trophique sur la reproduction et la sédentarité. Les populations d'*A. niloticus* présentent cependant une

phase de dispersion et le repos sexuel pendant l'inondation à un moment de l'année où les ressources ne sont pourtant pas restreintes. L'inondation est donc aussi un facteur limitant la reproduction, probablement parce qu'elle interdit la vie en terrier. Retenons que les cycles annuels d'inondation et de restriction trophique sont les principaux facteurs qui limitent la reproduction et la sédentarité des populations de rongeurs vivant en environnement sahélien aride ou semi-aride.

Variabilité en vironnementale, « horloge » et « anticipation » biologiques

16 L'antériorité du démarrage de la phase de reproduction et de sédentarité sur l'arrivée des pluies permet aux naissances d'apparaître dès le début de la courte période favorable au développement des jeunes, ce qui présente un avantage adaptatif (*cf. T. gracilis* et *T. petteri* en milieux semi-arides et arides). De même, l'antériorité de la phase de pré-estivation sur l'arrivée de la saison sèche et chaude permet une mise en vie ralentie avant la restriction trophique ; d'où une baisse de mortalité avantageuse (*T. petteri* en milieux arides). Enfin, l'antériorité de la phase de repos sexuel et de dispersion sur l'arrivée de l'inondation est aussi avantageuse puisque l'inondation est incompatible avec la vie fouisseuse et la reproduction (*A. niloticus*). Ces exemples illustrent que l'anticipation biologique sur les cycles de l'environnement peut présenter un avantage adaptatif, phénomène qui peut aller jusqu'à entraîner un décalage de la reproduction hors de la saison des pluies chez les populations des zones inondables.

17 Depuis l'origine de la vie, les organismes s'adaptent à la variabilité environnementale *via* la sélection des réponses biologiques les plus efficaces, dépendant de la performance et de la rapidité des réponses mais aussi de leur déclenchement par anticipation, si les variations sont prédictibles et si cela présente un avantage adaptatif. Cette anticipation biologique soumise à la sélection naturelle repose sur des horloges endogènes. Les mammifères disposent d'une horloge journalière dans les NSC dont le rythme propre est synchronisé sur 24 h par l'alternance jour-nuit *via* le faisceau rétino-hypothalamique qui relie les NSC à la rétine (Klein *et al.*, 1991) et selon un mécanisme qui fonctionne comme un compteur de photons (Attard *et al.*, 1995 ; Cooper *et al.*, 1998 ; Dkhissi-Benyhaya *et al.*, 2000). En aval, les NSC contrôlent les activités physiologiques et comportementales (Dijk et Edgar, 1999) en permettant, lorsque cela présente un avantage adaptatif, l'anticipation de ces activités sur l'alternance jour-nuit (anticipation du retour au terrier avant l'arrivée du jour chez les espèces nocturnes). Nombres d'oiseaux et de mammifères vivant en zones tempérées disposent de structures qui contrôlent aussi l'expression saisonnière des fonctions adaptatives (reproduction, migration, mue, hibernation, territorialisme) en relation avec l'arrivée du printemps ou de l'hiver ; et souvent la photopériode sert d'indicateur de temps saisonnier à ces espèces (Boissin et Canguilhem, 1988). Chez les oiseaux, la perception de la photopériode résulte de la photosensibilité de certaines structures cérébrales (Sicard *et al.*, 1983), alors que chez les mammifères, elle implique une voie nerveuse reliant la rétine à la glande pinéale qui ne produit de la mélatonine que pendant la nuit. La quantité de mélatonine (inversement proportionnelle à la durée du jour) permet à la glande pinéale des mammifères de moduler en fonction des saisons le contrôle des rythmes journaliers par les NSC (Moller et Pévet, 1994) (fig. 5). L'augmentation de la photopériode participe à la stimulation (*T. gracilis* et *T. petteri*) ou à l'inhibition (*A. niloticus*) de la reproduction des populations vivant dans des

environnements variables. Ce résultat confirme les suggestions de certains auteurs (Klein *et al.*, 1975 ; Khammar et Brudieux, 1986, 1987) que même certaines espèces tropicales sont photopériodiques. Ce résultat qui repousse la limite latitudinale du photopériodisme aux environs de 15°N a été considéré dans la revue de Bronson (1989). Les exemples présentés renforcent l'idée que la glande pinéale intègre tout un ensemble de facteurs photiques et non-photiques (photopériode, alimentation, température, humidité, phéromones, substances présentes dans les plantes en germination) afin de moduler en fonction des saisons le fonctionnement de l'horloge journalière (Pévet, 1987). Si les voies véhiculant les informations non-photiques sont peu connues, on sait cependant que l'humidité relative est perçue par le bulbe olfactif qui développe des relations avec la glande pinéale (Haldar et Saxena, 1988). Nous pensons que le facteur trophique agit *via* le système vasopressinergique dont l'activité est corrélée aux variations saisonnières des ressources trophiques et qui est en relation avec les NSC (fig. 5).

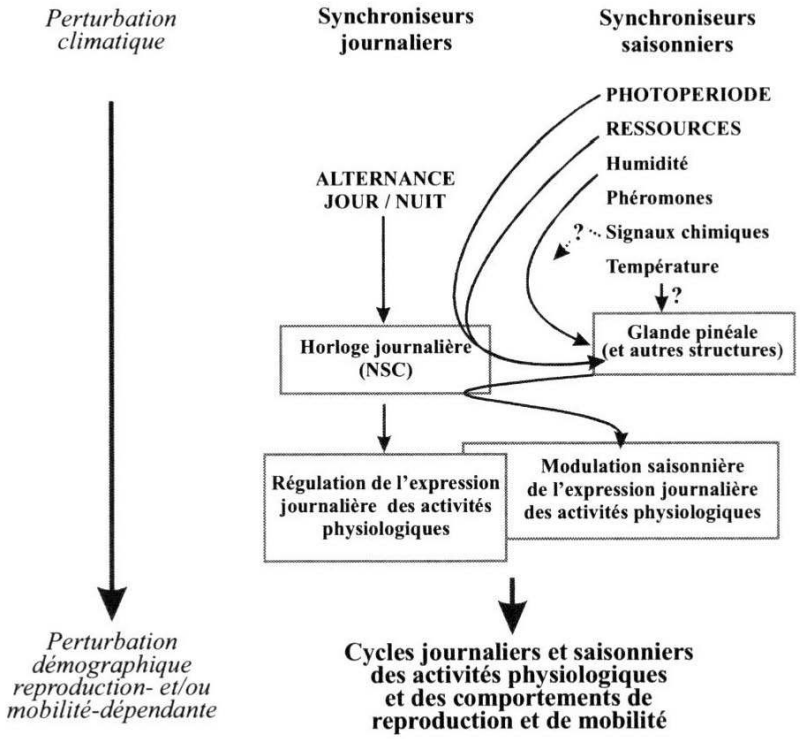


Figure 5. L'horloge biologique des mammifères.

18 Le maintien du photopériodisme aux basses latitudes est donc probablement associé au fait que cela présente un avantage adaptatif et que la glande pinéale puisse intégrer un ensemble de facteurs photiques et non-photiques pour « percevoir » l'avancée des saisons. L'avantage adaptatif de ce maintien (*i.e.* l'anticipation de la reproduction sur les variations saisonnières de ses facteurs limitants) est impossible en climat désertique, où les pluies sont aléatoires, et semble inutile aux basses latitudes, où la pluviométrie n'est plus un facteur limitant. Elle n'est finalement probable qu'en région soudano-sahélienne où les pluies sont prédictibles entre juin et septembre, et où l'anticipation biologique est avantageuse du fait du caractère brutal de l'inversion des conditions climato-trophiques. Cet avantage est d'autant plus nécessaire que la période pluvieuse est plus courte (milieux arides et semi-arides) ou que l'inondation est plus longue (zones inondables) (fig. 6).

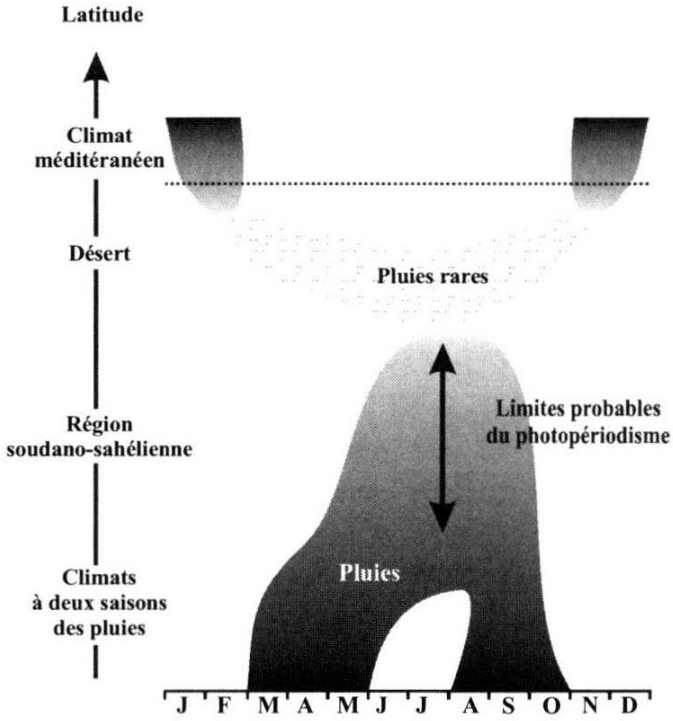


Figure 6. Le photopériodisme, adaptation au pluviopériodisme ?

19 Contrairement au climat désertique, le climat sahélien est prédictible car il dispose de plusieurs synchroniseurs potentiels : l'augmentation des températures (février), de la photopériode (mars) et de l'humidité atmosphérique (mai) ; l'arrivée des pluies (juin) ; la diminution simultanée des pluies, de l'humidité et de la photopériode (septembre) ; la baisse des températures (novembre).

20 L'implication de certains de ces facteurs dans la régulation de la reproduction laisse penser que leur variabilité inter-annuelle se situe dans une fourchette statistique compatible avec la sélection naturelle des mécanismes d'anticipation.

Stratégies d'adaptation aux périodes d'inondation et de restriction trophique

21 Chez *M. huberti,* seul le facteur trophique détermine la durée de la phase de sédentarité et de reproduction, qui est directement ajustée à la durée de la période trophique favorable. Cette stratégie de type « opportuniste » semble bien adaptée à la vie dans les milieux stables car la période de restriction trophique qui apparaîtrait les années à pluviométrie déficitaire serait de courte durée. Elle semble moins adaptée à la vie dans les milieux arides ou semi-arides où le temps « perdu » nécessaire à la maturation gonadique serait critique du fait de la brièveté de la période trophique favorable. Elle semble aussi peu adaptée à la vie dans les milieux inondables où il n'est pas possible de se reproduire et de rester sédentaire pendant l'inondation.

22 Chez *T. gracilis* et *T. petteri,* le facteur trophique joue un rôle majeur dans le déclenchement de la phase de repos sexuel et de dispersion, mais ce sont des facteurs non-trophiques qui contrôlent le déclenchement de la phase de sédentarité et de reproduction. Cette stratégie est en partie « opportuniste » puisqu'elle permet un

ajustement de la phase de sédentarité et de reproduction en fonction de la durée de la période trophique favorable. Elle est aussi en partie « anticipatrice », puisqu'elle permet l'antériorité du démarrage de la reproduction sur l'arrivée des pluies ou l'antériorité de la sédentarisation sur l'arrivée de la période trophique défavorable. Cette stratégie hybride (mi-opportuniste, mi-anticipatrice) est bien adaptée à la vie dans les milieux semi-arides et arides où le temps nécessaire à la maturation gonadique ne peut être perdu au détriment de la période des naissances qui ne peuvent se produire en dehors de la courte période trophique favorable. Sa valeur adaptative s'exprime pleinement dans les milieux arides où les individus se reproduisent une fois regroupés et sédentaires, lorsque les ressources sont abondantes ; et où ils estivent une fois dispersés et sédentaires, lorsque les ressources deviennent rares. Ils optimisent ainsi leurs dépenses énergétiques tout en assurant le maintien du brassage génétique des populations.

23 Chez *A. niloticus,* ce sont surtout des facteurs non-trophiques qui déclenchent la phase de repos sexuel et de dispersion, mais aussi la phase de sédentarité et de reproduction. Cette stratégie plus strictement « anticipatrice », qui permet l'antériorité sur le début mais aussi sur la fin de la période d'inondation, semble plus strictement adaptée à la vie dans les zones inondables puisqu'elle empêche reproduction et sédentarité pendant la saison pluvieuse.

Pullulations et inondation

24 Les variations saisonnières des facteurs limitant la reproduction et la mobilité (inondation et restriction trophique) participent finalement *via* les mécanismes de régulation de la reproduction et de la mobilité, à la spécificité des cycles d'abondances (Sicard et Gautun, 1991). La connaissance de ces cycles d'abondance, mais aussi la connaissance des effets des variations inter-annuelles des facteurs limitants sur la composition des peuplements en rongeurs, sont indispensables au développement de stratégies de contrôle spécifiques et à la prévision de l'impact des rongeurs ravageurs sur les ressources renouvelables (Sicard *et al.*, 1999 a). Cette prévision est difficile car non seulement les espèces d'un même peuplement peuvent développer des stratégies adaptatives différentes (Sicard, 1992), mais les mouvements saisonniers des populations peuvent parfois leur permettre de « passer » d'un milieu à un autre au cours de l'année (Diarra, 1996). En faisant l'hypothèse qu'une espèce est d'autant plus compétitive que ses particularités adaptatives s'expriment, on peut prédire :

- qu'une pluviométrie restreinte « favorise » les espèces à stratégie hybride (*T. gracilis* et *T. petteri*) dans les milieux arides et semi-arides, mais « défavorise » *A. niloticus* dans les zones inondables ;
- qu'inversement, une pluviométrie importante « défavorise » les espèces à stratégie hybride dans les milieux arides et semi-arides (ces dernières étant d'autant moins compétitives que la période de restriction trophique est courte), mais « favorise » *A. niloticus* dans les zones inondables (cette espèce étant d'autant plus compétitive que l'inondation est importante).

25 Si on rapporte ces hypothèses au fait qu'*A. niloticus* est la seule espèce tropicale de type « jour court » que nous ayons pu trouver, on peut penser que cette originalité chronobiologique lui confère un avantage adaptatif qui s'exprime surtout les années à forte pluviométrie dans les zones inondables.

Conclusion

26 Le pouvoir sélectif de l'inondation est probablement aussi puissant que le pouvoir sélectif de la période de restriction trophique en région soudano-sahélienne. De ce fait, les variations interannuelles de la pluviométrie favorisent certaines espèces mais en pénalisent d'autres. Elles n'ont donc pas un effet uniforme sur les populations de rongeurs. Il se pourrait que les espèces « capables d'anticipation » soient confinées dans la zone soudano-sahélienne où l'anticipation biologique est possible et avantageuse. Les cycles annuels de restriction trophique et d'inondation, s'ajoutent donc aux facteurs qui structurent la répartition biogéographique des espèces. Il est aussi possible *qu'A. niloticus* présente des pullulations fréquentes parce que cette espèce est la « mieux adaptée » à la vie dans les zones inondables.

27 Tout comme l'étude du déterminisme de la reproduction a permis de modéliser le risque de pullulation « reproduction-dépendante », l'étude de la mobilité devrait permettre de modéliser les risques de pullulation « mobilité-dépendante ». Si la reproduction s'exprime surtout à l'échelle saisonnière, la mobilité a aussi une dimension spatiale et sa dimension temporelle s'exprime autant à l'échelle journalière (rythme d'activité des individus) que saisonnière (cycle de dispersion des populations). Nous devons donc chercher à comprendre comment les synchroniseurs de l'environnement modulent selon les saisons (*via* la glande pinéale) le contrôle de l'expression journalière de la mobilité par l'horloge journalière, en ciblant particulièrement les populations de rongeurs des plaines inondables du fleuve Niger. Nous sommes en mesure d'identifier sur le terrain les facteurs clés impliqués dans le déterminisme du cycle de dispersion des populations (approche écologique et génétique des populations) et d'étudier expérimentalement le déterminisme du rythme d'activité (approche chronobiologique). Une approche systématique et biogéographique permettra de comprendre le rôle des zones inondables, des fleuves et des cordons dunaires sur l'histoire phylogéographique des rongeurs soudano-sahéliens. Cette diversité des approches est rendue possible par le regroupement de plusieurs spécialistes des pullulations au sein du « Centre de biologie et de gestion des pullulations » (CBGP, Inra-IRD-Cirad-Ensam).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Attar A., Merrouche C, Kyelem M., Sicard B., Cooper H. M., 1995 – Organization of the SCN and IGL in a nocturnal rodent *Taterillus petteri* : a neuroanatomical, viral tracing and neuropeptide study. *Biological Rhythm Research,* 26 (4) : 363.

Boissin J., Canguilhem B., 1988 – Les rythmes circannuels chez les mammifères. *Arch. Int. Physiol. Biochim.,* 96 : 289-345.

Branson F. H., 1989 – *Mammalian reproductive biology.* Chicago, The University of Chicago Press, 325 p.

Conway G., 1981 – "Man versus pests". *In* May R. M. (éd.) : *Theoretical ecology : principles and applications* (2nd ed.), Oxford, Blackwell : 356-386

Cooper H. M., Sicard B., Dhkissi O., Groscarré H., 1998 – "Light-evoked c-fos expression in the SCN is different under on/off and simulated natural phoperiods". *In* Touitou Y. (éd.) : *Biological Clocks : mechanisms and applications,* Amsterdam, Elsevier Sc. : 181-188.

Diarra W,, 1996 – *Savoir traditionnel sur les rongeurs et sur la lutte anti-rongeurs : applications au contrôle des rongeurs nuisibles.* DEA, univ. du Mali, Bamako, Isfra, 56 p.

Dijk D. J., Edgar D. M., 1999 – "Circadian and homeostatic control of wakefulness and sleep". *In* Turek F. W., Zee P. C. (éd.) : *Regulation of sleep and circadian rhythms,* New York, Marcel Dekker Inc., : 111-147.

Dkhissi-Benyhaya O., Sicard B., Cooper H. M., 2000 – Effect of irradiance and stimulus duration on early gene expression (Fos) in the suprachiasmatic nucleus : temporal summation and reciprocity. *J. Neuroscience,* 20 (20) : 7790-7797.

Ducroz J. F., Granjon L, Chevret P., Duplantier J. M., Lombard M., Volobouev V., 1997 – Characterization of two distinct species of Arvicanthis (*Rodentia-Muriade*) in West Africa : cytogenetic, molecular and reproductive evidence. *J. Zool. Lond.,* 241 : 709-723.

Duplantier J. M., Britton-Davidian J., Granjon L, 1990 – Chromosomal characterization of three species of the genus *Mastomys* in Senegal. *Zeitschrift für zoologische Systematik und Evolutionforschung,* 28 : 289-298.

Fielder L. A., 1988 a – Rodent pest problem in Eastern Africa. *FAO Plant Protection Bulletin,* 36 (3) : 125-134.

Fielder L. A., 1988 b – "Rodent pest problems and management in eastern Africa". *In* Prakash I. (éd.) : *Rodent pest management,* Boca-Raton, CRC Press Inc. : 35-65.

Fuminier F., 1993 – *Influences des disponibilités en eau et de la température sur le contrôle photopériodique de la reproduction chez une espèce pullulante de rongeurs sahélien, Arvicanthis niloticus.* Thèse doct., univ. Montpelier-II, 210 p.

Fuminier F., Sicard B., Boissin-Agasse L., Boissin J., 1993 – Seasonal changes in the hypothalamic vasopressinergic system of a wild Sahelian Rodent *Taterillus petteri. Cells and Tissue Research,* 271 : 309-316.

Gautun J. C., Sicard B., 1988 – « Conditions climatiques et dynamique des populations de rongeurs sahéliens nuisibles aux cultures ». *In* Rijks D., Mathys G. (éd.) : *L'agrométéorologie et la protection des cultures dans les zones semi-arides,* Genève : 147-166.

Haldar C, Saxena N., 1988 – Pineal gland and humidity effect on testicular function of the indiam palm squirrel (*Funambulus pennanti*). *J. Pineal Research,* 5 : 411-418.

Hubert B,, Adam F., Poulet A. R., 1978 – Modeling of the population cycle of two rodents in Senegal. *Bulletin of the Carnegie Museum of Natural History,* 6 : 88-91.

Hubert B., Couturier G., Poulet A. R., Adam F., 1981 – Conséquences d'un supplément alimentaire sur la dynamique des populations de rongeurs (Sénégal). (I) Cas de *Mastomys erythroleucus* en zone sahélo-soudanienne. *Terre et Vie,* 35 : 73-95.

Hubert B., Adam F., 1983 – The regulation of the population dynamic of two sahelian rodents in Senegal : a hypothesis. *Annales du musée royal d'Afrique centrale,* Zoologie, 237 : 193-201.

Hubert B., Adam F., 1985 – Outbreaks of *Mastomys erythroleucus* and *Taterillus gracilis* in the sahelo-sudanian zone in Senegal. *Acta Zoologica Fennica,* 173 : 113-117.

Khammar F., Brudieux R., 1986 – « Variations saisonnières de l'activité testiculaire du rat des sables (*Psammomys obesus*) ». *In* Assenmacher I., Boissin J. (éd.) : *Endocrine regulations as adaptative mechanisms to the environment,* Paris, Ed. CNRS : 49-55.

Khammar F., Brudieux R., 1987 – Seasonal changes in testicular contents and plasma concentrations of androgens in the Desert gerbil *(Gerbillus gerbillus). J. Reprod. Fertil.,* 80 : 589-594.

Klein J. M., Poulet A. R., Simonkovich E., 1975 – Observations écologiques d'une zone enzootique de peste (Mauritanie). Les rongeurs, et en particulier *Gerbillus gerbillus Oliver,* 1801 *(Rodentia, Gerbillinae). Cah. Orstom, sér. Ent. Med. Parasitol.,* (13) :13-28.

Klein D. C, Moore R. Y., Reppert S. M., 1991 – *Suprachiasmatic nucleus. The mind's clock.* New York, Oxford University Press, 467 p.

Kyelem M., Sicard B., 1994 – Ecorégulation de l'activité ovarienne : conséquences sur la modélisation des pullulations de rongeurs soudano-sahéliens. *Nuisibles Pests Pragas,* (2) : 149-160.

Leirs H., 1995 – *Population ecology of Mastomys natalensis (Smith, 1834). Implications for rodent control in Africa.* Bruxelles, BADC, Agricultural Ed., 35, 268 p.

Leirs H, 1999 – "Populations of African rodents : models and the real world". *In* Singleton G. R., Hinds L. A., Leirs H., Zhang Z. (éd.) : *Ecologically based rodent management,* Camberra, ACIAR : 388-408.

Leirs H., Stuyck J., Verhagen R., Verheyen W., 1990 – Seasonal variatioon in growth of *Mastomys erythroleucus* (Rodentia, Muridae) in Morogoro, Tanzania, *Afr. J. Ecol.,* 28 : 298-306.

Leirs H., Stenseth N. C, Nichols J. D., Hines J. E., Verhagen R., Verheyen W., 1997 – Stochastic seasonality and non-linear density dependant factors regulate population size in an african rodent. *Nature,* 389 : 176-180.

Moller M., Pévet P. (éd.), 1994 – *Advances in pineal research (vol. 8).* London, John Libbey.

Mutze G. J., 1991 – Mouse plagues in South Australian cereal growing areas. III – Changes in mouse abundance during plague and non plague years and the role of réfugia. *Wildlife Res.,* 18 : 593-604.

Pévet P., 1987 – "The integration of environmental informations in mammals. Possible role of the pineal and of different 5-methoxyindoles". *In* Reiter R. J., Fraschini F. (éd.) : *The pineal gland and its endocrine role,* London, Plenum press : 127-134.

Poulet A. R,, 1980 – The 1975-1976 rodent outbreak in a northern Senegal irrigated farmland. *Biotrop special publ.,* 12 : 123-138.

Poulet A. R., 1982 – *Pullulation de rongeurs dans le Sahel.* Paris, Orstom Ed., 367 p.

Poulet A. R., 1985 – The ecological basis of forecasting rodent outbreaks in a Sahelian agrosystem. *Acta Zoologica Fennica,* 173 : 107-111.

Poulet A. R., Couturier G., Hubert B., Adam F., 1981 – Conséquences d'un supplément alimentaire sur la dynamique des populations de rongeurs au Sénégal : (II) – Le cas de *Taterillus pygargus* en zone sahélienne. *Terre et Vie,* 35 : 195-215.

Sicard B., 1987 – *Mécanismes écologiques et physiologiques de régulation des variations régulières et irrégulières d'abondance des rongeurs sahéliens (Burkina Faso).* Thèse doct. d'Etat, univ. Montpellier-II, 303 pages.

Sicard B., 1992 – « Influences de l'aridité sur la biologie des Rongeurs soudano-sahéliens ». *In* Le Floc'h E., Grouzis M., Bille J. C. (éd.) : *L'aridité, une contrainte au développement : caractérisation, réponses biologiques et stratégies des sociétés,* Paris, Orstom, coll. Didac. : 309-333.

Sicard B., 1995 a – Le problème des rongeurs nuisibles soudano-sahéliens. *Sahel integrated pest management,* 1 : 17-22.

Sicard B., 1995 b – Climate variations and rodent outbreaks in the sahelian region. *European J. of plant pathology,* 101 : 0830.

Sicard B., Gautun J. C, 1991 – « Facteurs écophysiologiques de régulation des variations d'abondance des populations de rongeurs en région sahélienne ». *In* Le Berre M., Le Guelte L. (éd.) : *Le rongeur et l'espace,* Paris : 259-274.

Sicard B, Fuminier F., 1994 – Relations entre les variations saisonnières du métabolisme hydrique, l'estivation et la reproduction chez *Gerbillus nigeriae* et *Taterillus petteri* (Rodentia, Gerbillidae). C. *R. Acad. Sci.,* 317 (3) : 231-238.

Sicard B., Fuminier F., 1996 – Environmental cues and seasonal breeding patterns in Sahelian rodents. *Mammalia,* 60 : 667-675.

Sicard B., Papillon Y., 1996 – Water redistribution and the life cycle of sudano-sahelian rodents. *Mammalia,* 60 : 607-617.

Sicard B., Oliver J., Baylé J. D., 1983 – Gonadotropic and photosensitive abilities of the *Lobus Paraolfactorius* : electrophysiological study in the Quail. *Neuroendocrinology,* 36 : 81-87.

Sicard B., Navaras M., Jacquart T., Lachiver F., Croset H., 1985 – Métabolisme hydrique de populations de *Mus musculus domesticus* (Rutty) et *Mus spretus* (Lataste) soumises à divers régimes hydriques. C. *R. Acad. Sci.*, 300 (3) : 699-704.

Sicard B., Tranier M., Gautun J. C., 1988 a – Un rongeur nouveau du Burkina Faso (ex. Haute Volta) : *Taterillus petteri sp. nov.* (Rodentia, Gerbillidae). *Mammalia,* 52 : 187-198.

Sicard B., Maurel D., Gautun J. C., Boissin J., 1988 b – Activation ou inhibition testiculaire par la photopériode chez sept rongeurs soudano-sahéliens ; première démonstration d'une photogonadosensibilité. C. *R. Acad. Sci.,* 307 (3) : 11-16.

Sicard B., Maurel D., Fuminier F., Boissin J., 1992 – Circadian rhythm of photosensitivity and the adaptation of reproductive function to the environment in two populations of *Arvicanthis niloticus* from Mali and Burkina Faso. *J. Reprod. Pert.,* 95 : 159-167.

Sicard B., Fuminier F., Maurel D., Boissin J., 1993 – Temperature and water conditions mediate the effects of day length on the breeding cycle of a sahelian rodent, *Arvicanthis niloticus. Biol. Reprod.,* 49 : 716-722.

Sicard B., Maurel D., Fuminier F., Boissin J., 1994 – Climate, trophic factors and breeding patterns of the Nile Grassrat, *Arvicanthis niloticus* ; a five years study in the sahelian region (Burkina Faso, formerly Upper Volta). *Can. J. Zool.,* 72 : 201-214.

Sicard B., Kyelem M., Papillon Y., Diarra W., Keita M., 1995 – *Rongeurs nuisibles soudano-sahéliens.* Institut du Sahel (éd.), coll. Recherche et développement, 48 p.

Sicard B., Diarra W., Cooper H. M., 1999 a – « Ecophysiology and chronobiology applied to rodent pest management in semi-arid agricultural areas in sub-Saharan West Africa ». *In* Singleton G., Hinds L, Leirs H., Zhang Z. (éd.) *Ecologically-based management of rodent pests,* Canberra, ACIAR Monograph, 59 : 409-440.

Sicard, B., Catalan J., Ag Atheyinine S., Diarra W., Britton-Davidian J., 1999 b – "Biogeographical distribution of *Arvicanthis niloticus Demarest 1822* and *Arvicanthis ansorgei Thomas 1910* (Rodentia, Muridae) in Mali". *In : Abstracts of the 8th International symposium on African small mammals,* Paris : 25.

Singleton G. R., Hinds L. A., Leirs H., Zhang Z. (éd.), 1999 – *Ecologically-based management of rodent pests.* Canberra, ACIAR Monograph, 59, 479 p.

AUTEURS

BRUNO SICARD

Ecophysiologiste. IRD, BP 2528, Bamako, Mali,

WAMIAN DIARRA

Ecologiste

Impacts environnementaux de la mise en valeur d'une zone inondable par irrigation

Évolution des sols et des eaux à l'Office du Niger (Mali)

Serge Marlet et Mamadou Kabirou N'Diaye

1 Les zones inondables sont un lieu privilégié d'intensification des systèmes de culture en relation avec un contrôle accru de la ressource en eau. Dans le delta intérieur du Niger, le potentiel hydraulique est considérable et représente une opportunité d'accroissement de la production agricole du Mali. Ce potentiel est estimé à un million d'hectares. Cependant, l'Office du Niger (Bonneval *et al.*, 2002) n'exploite actuellement que 56 675 ha de casiers aménagés (fig. 1), dont 5 000 ha de canne à sucre, et alimente environ 15 000 ha de « hors casiers » ainsi qu'un casier en maîtrise partielle de l'eau (submersion contrôlée) de 3 000 ha de l'« Opération Riz Ségou » (ORS). Depuis plus d'une dizaine d'année, la réhabilitation des aménagements, la libéralisation des filières et l'amélioration des pratiques culturales ont conduit à une amélioration spectaculaire des performances de la riziculture à l'Office du Niger. Les rendements moyens, initialement proche des 2 t ha^{-1} de paddy, dépassent aujourd'hui les 5 t ha^{-1}. Ces évolutions s'accompagnent de nombreux périls pour l'environnement dans et à proximité des zones aménagées (MDRE, 1999).



Figure 1. Carte de l'Office du Niger.

2 Ces périls concernent à la fois les ressources naturelles en bois, les pâturages, la biodiversité, la gestion des ressources en eau du fleuve Niger (en quantité comme en qualité), la pression démographique, l'état sanitaire des populations, les systèmes de production et l'environnement aussi bien pour les systèmes irrigués que pour l'agriculture pluviale, l'élevage et la pêche. Dans ce contexte, l'évolution de la qualité des sols et des eaux est une des plus sérieuses menaces qui pèsent sur la durabilité des systèmes irrigués dans la mesure où la productivité du système de culture serait directement affectée.

3 L'évolution de la qualité des sols et des eaux est analysée à travers l'exemple des périmètres irrigués de l'Office du Niger (N'Diaye, 1987). Les performances du système hydraulique sont tout d'abord analysées car elles représentent un déterminant essentiel des bilans en eau et en sels à différentes échelles dans les périmètres irrigués. Puis l'impact de ces phénomènes sur l'évolution des sols et sur la productivité des systèmes irrigués est évalué.

Les performances du système hydraulique et ses conséquences sur les bilans en eau et en sels

4 La quantité d'eau prélevée annuellement dans le fleuve Niger est estimée à 2,56 milliards de m^3, soit environ 35 000 m^3 ha^{-1} an^{-1} si l'on considère l'ensemble des superficies irriguées à partir des eaux dérivées du barrage de Markala. Ces prélèvements représentent moins de 10 % des apports du fleuve Niger pendant la période de crue de juillet à décembre bien que les besoins en eau soient élevés pendant cette période de campagne rizicole. A l'inverse, ils représentent plus de 30 % des apports du fleuve (jusqu'à

50 % de février à mai) pendant l'étiage alors que les superficies cultivées sont marginales. La mise en eau des casiers rizicoles au cours du mois de juin représente la principale période de crise comme l'a illustré le retard de la crue en 1999 (Hassane et Kuper, 1999). La ressource reste globalement suffisante mais l'extension des superficies cultivées passe par une meilleure gestion de l'eau et une réduction des consommations, notamment en raison d'un débit d'équipement limité du réseau hydraulique primaire. L'Office du Niger s'est fixé comme objectif une consommation de 15 000 m^3 ha^{-1} de riz cultivé en hivernage à l'échelle des arroseurs.

5 Les bilans en eau (Ouvry et Marlet, 1999) réalisés au niveau du système du Sahel (Fala de Molodo) et du casier Retail montrent que (fig. 2) :

- seulement 25 % des eaux dérivées du barrage de Markala sont effectivement utilisées par les cultures : l'évapotranspiration d'une culture de riz pendant l'hivernage s'élève à environ 10 500 m^3 ha^{-1}, soit 5,7 mm j^{-1} en moyenne. En fonction d'apports pluviométriques moyens de 3 500 m^3 ha^{-1} au cours de la campagne, les besoins nets en eau d'irrigation sont proches de 7 000 m^3 ha^{-1}. Cependant, considérant les quantités nécessaires à la mise en eau des parcelles rizicoles, des besoins en eau de l'ordre de 12 000 m^3 ha^{-1}, soit des besoins en eau d'irrigation de 8 500 m^3 ha^{-1}, apparaissent comme une référence plus fiable, et par ailleurs conforme aux résultats obtenus sur d'autres périmètres du Sénégal ou de la Mauritanie ;
- 44 % sont perdus dans le réseau primaire par évaporation et infiltration sur les biefs « point A - point B », « point B - point C » du Fala de Molodo, mais aussi par déversement au point C des eaux qui viennent alimenter l'aval des zones aménagées, ces pertes sont d'autant plus élevées en proportion que les superficies aménagées sont limitées par rapport au potentiel aménageable ;
- 21 % sont perdus dans le système de drainage, essentiellement pendant la saison rizicole : au niveau du drain principal Niono-Grüber, les volumes drainés s'élèvent en moyenne à 6 870 m^3 ha^{-1} au cours de cette saison ; au niveau des arroseurs suivis sur le distributeur Retail, les résultats sont équivalents (6 700 m^3 ha^{-1}) avec toutefois une forte variabilité ; le drainage souterrain ne correspond qu'à environ 120 m^3 ha^{-1} et les drains sont principalement alimentés par la vidange des bassins rizicoles (2 800 m^3 ha^{-1}) et par les pertes dans le système hydraulique ;
- 10 % sont perdus par infiltration dans les canaux, essentiellement pendant la contre-saison : en effet, la mise en eau du réseau hydraulique conduit à des consommations en eau de 5 850 m^3 ha^{-1}, très supérieures aux besoins en eau des cultures alors que la superficie cultivée ne représente qu'à peine 20 % des surfaces aménagées sur le distributeur Retail ; cette surconsommation s'explique par d'importantes pertes par infiltration dans les canaux, estimées à 1,5 mmj^{-1}, qui viennent alimenter la nappe et un flux ascendant de remontées capillaires ; pendant la saison rizicole, les pertes sont limitées en raison d'une position élevée de la nappe.

6 En bilan global, les apports d'eau d'irrigation pour la saison rizicole s'élèvent à 14 700 m^3 ha^{-1} à l'échelle du distributeur Retail et à 13 500 m^3 ha^{-1} en moyenne sur les arroseurs étudiés ; l'objectif de 15 000 m^3 ha^{-1} fixé par l'Office du Niger à l'échelle de l'arroseur apparaît d'ores et déjà atteint, voire dépassé. A l'exclusion des pertes considérables dans le réseau primaire, les surconsommations en eau alimentant le système de drainage interviennent principalement au niveau du réseau tertiaire (fig. 3). D'une part, les vidanges des bassins d'irrigation – volontaires ou accidentelles – contribuent efficacement à la désalinisation des sols cultivés. Ces vidanges correspondent à environ 45 % des eaux et à 73 % des sels évacués par le système de drainage, valeurs qui doivent

être respectivement comparées aux 2 % des eaux et 9 % des sels issus du drainage souterrain.

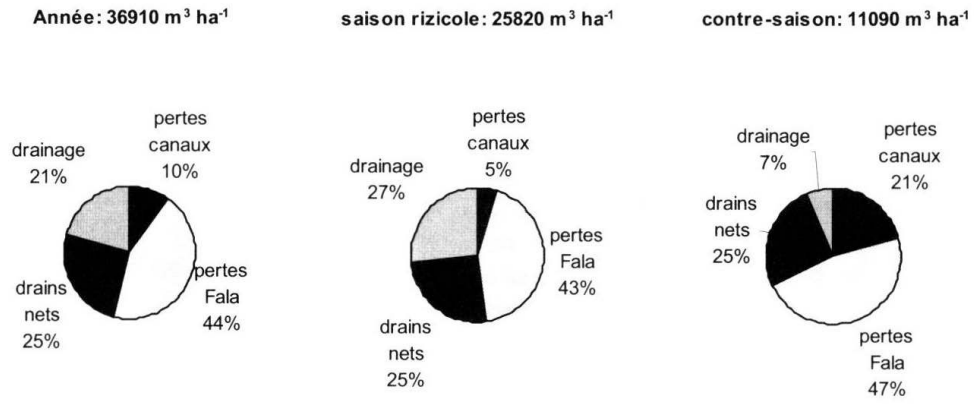


Figure 2. Estimation des bilans de l'eau des périmètres desservis par le canal du Sahel (années 1996 à 1998).

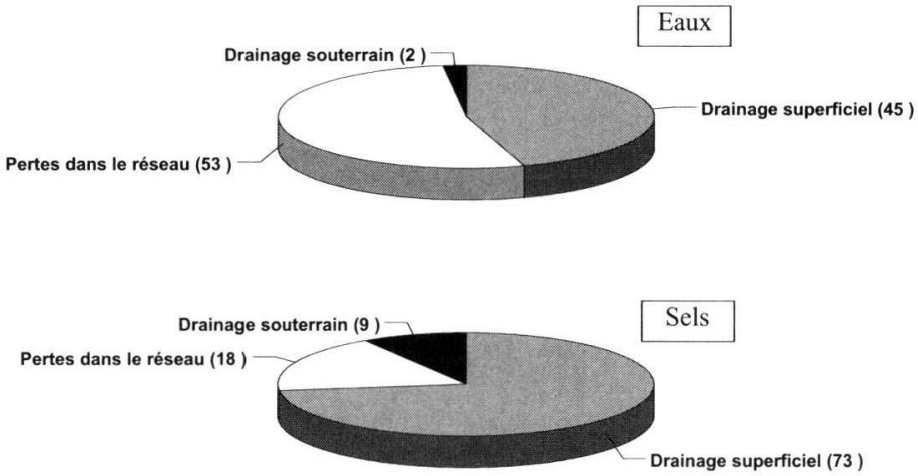


Figure 3. Origine des eaux et des sels dans les eaux de drainage de l'Office du Niger (pourcentage des quantités d'eau ou de sels drainés pendant la saison rizicole).

7 D'autre part, des pertes dans le réseau hydraulique sont liées au passage direct de l'arroseur au drain d'arroseur par la rigole d'arroseur ou par débordement des déversoirs de sécurité. Ces volumes d'eau correspondent à 53 % des volumes drainés et représentent la principale opportunité d'accroissement des performances hydrauliques des aménagements.

8 En conséquence, le bilan des sels apparaît négatif pendant la saison rizicole en raison d'importantes sorties d'eau et de sels issues des vidanges des bassins d'irrigation. Pendant la contre-saison, les volumes drainés restent faibles et le bilan des sels apparaît positif (fig. 4). Les eaux d'irrigation alimentent non seulement les cultures mais aussi les nappes en raison du maintien en eau de la plus grande partie des infrastructures hydrauliques, notamment sur les formations les plus perméables. A l'échelle de l'année, le bilan des sels est proche de l'équilibre dans la situation actuelle de gestion des systèmes hydrauliques.

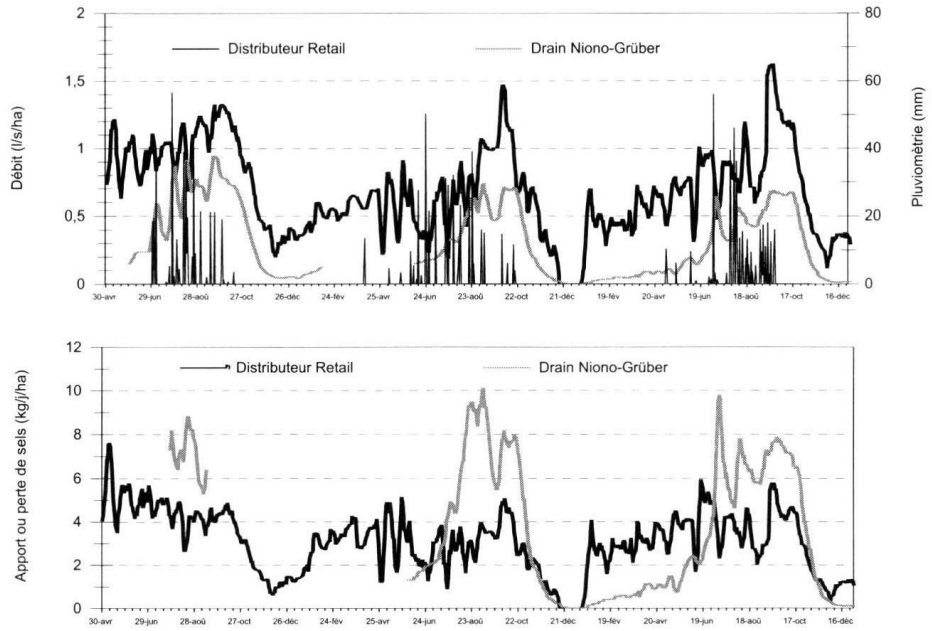


Figure 4. Bilan en eau et en sels à l'échelle du casier Retail (débit d'eau ou quantité journalière de sels entrants dans le distributeur Retail et sortant au niveau du pk 9.8 du drain principal Niono-Grüber).

Évolution des sols et des eaux, productivité des systèmes irrigués

9 La complexité des sols de l'Office du Niger est héritée d'une part, des modalités de mise en place des matériaux dans un environnement deltaïque, et d'autre part, des modalités de gestion des systèmes de culture irriguée. L'environnement deltaïque a structuré le milieu sous la forme de vastes cuvettes argileuses séparées par des bourrelets sableux. Ces cuvettes ont pu ensuite être recouvertes de façon variable par des matériaux plus grossiers pour former de petites levées alluviales ou des zones d'épandage lors de la rupture périodique des berges ainsi formées. Sur cette structure de base, l'irrigation a orienté l'évolution des sols sous l'influence de l'intensité du drainage, de la qualité des eaux et du fonctionnement hydrologique.

10 Les eaux d'irrigation sont caractérisées par une alcalinité résiduelle positive et les sols évoluent dans un contexte d'alcalinisation (augmentation du pH) et de sodisation (dégradation des propriétés physiques) lorsqu'elles se concentrent (fig. 5).

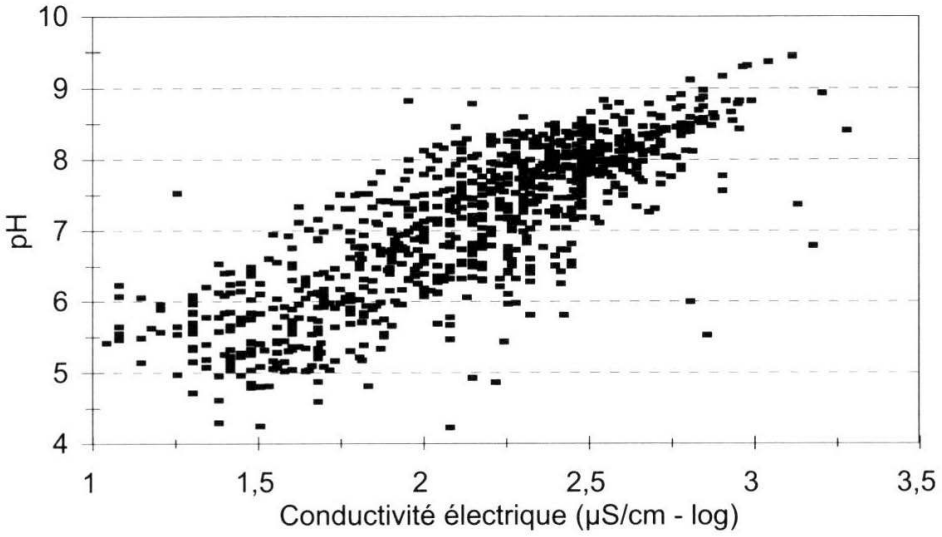


Figure 5. Évolution des sols par alcalinisation (pH et conductivité électrique mesurés sur extraits 1 :2,5).

11 Les sols ne sont généralement pas salés. Au sein du Kala inférieur, les sols de la zone de Niono apparaissent les plus touchés et 30 % des superficies atteignent des valeurs critiques en terme d'alcalinité et de sodicité. Les périmètres du Kouroumari et plus encore du Macina semblent davantage épargnés par ces phénomènes d'alcalinisation des sols. Localement, certains sols montrent un faciès géochimique tendant vers la neutralité, différent des résultats attendus d'une concentration progressive des eaux d'irrigation. Ces différences pourraient être liées aux variations de faciès géochimique des eaux de nappe, elles-mêmes sous la dépendance d'une source de sels fossiles issus de l'aquifère sédimentaire. Ces eaux parfois salées sont vraisemblablement à l'origine des premières efflorescences de salants blancs qui ont pu alarmer de façon excessive les observateurs.

12 Les résultats obtenus permettent de formuler les hypothèses suivantes quant à l'évolution des sols des périmètres du Kala inférieur sous irrigation (Marlet et N'Diaye, 1998). Dans la période précédant la réhabilitation des périmètres, la gestion de l'irrigation et du drainage était déficiente. L'alcalinité et la sodicité des sols argileux moins perméables a augmenté. Les sols sableux ont été globalement épargnés par le phénomène. Les sols de la zone du Macina située dans le delta vif du fleuve Niger se distinguent nettement des sols du delta mort par un pH proche de la neutralité et une sodicité très modérée (tableau 1).

Tableau 1. Évolution moyenne des sols par alcalinisation et sodisation entre 1951 et 1980, d'après Dabin (1951) et Toujan (1980).

	pH		Sodium échangeable meq/100 g (*ESP - %*)	
	1951	1980	1951	1980
delta vif	4,95	6,07	0,21	0,30 (*1,32*)
delta mort : levées sableuses	5,99	7,02	0,28	0,36 *(2,60)*
delta mort : cuvettes argileuses	6,79	8,08	0,40	2,03 *(7,48)*

13 Ensuite, durant la période suivant la réhabilitation des aménagements hydrauliques, la maîtrise de l'irrigation et du drainage s'est sensiblement améliorée et les cultures se sont développées pendant la contre-saison. Les canaux d'irrigation restent désormais en eau sur la majeure partie du périmètre, contribuent à la recharge de la nappe sur les formations les plus perméables et alimentent un flux important de remontées capillaires. Dans cette période récente, le pH, la conductivité électrique et la sodicité des sols sableux ont rapidement augmenté tandis que ces indicateurs diminuaient sur les sols argileux. Ces évolutions sont particulièrement sensibles dans l'horizon superficiel tandis que les propriétés des horizons profonds restent partiellement héritées des évolutions antérieures (fig. 6). Aujourd'hui, la salinité et l'alcalinité des sols argileux demeurent plus élevées que celles des sols sableux bien que cette tendance soit en train de s'inverser avec la modification des modalités de gestion des périmètres. A l'inverse, la sodicité des sols sableux est souvent plus élevée en raison d'un moindre pouvoir tampon de ces sols. Elle favorise la dégradation des propriétés physiques des sols à partir d'une valeur seuil de l'ESP de 5 à 7 %.

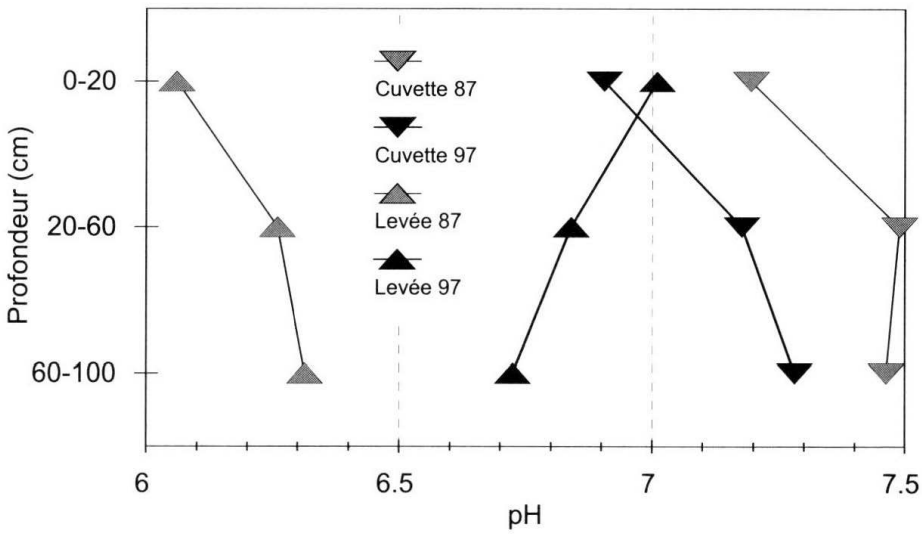


Figure 6. Évolution de l'alcalinité des sols de la zone de Niono après réhabilitation.

14 La topographie joue aussi un grand rôle dans la distribution des sels à différentes échelles, les points hauts apparaissant, aux yeux du chercheur comme à ceux du paysan, comme les plus sensibles à la dégradation. Il s'agit de zones marginales difficilement irrigables, inclues dans les aménagements ou hors casiers ; ou de points hauts relatifs à l'échelle de la rigole d'arroseur ou du bassin d'irrigation, souvent exondés, où viennent se redistribuer les sels apportés par les eaux d'irrigation.

15 Malgré les propriétés physico-chimiques défavorables des sols, leur impact sur les performances de la riziculture irriguée apparaît marginal ; environ 5 % des terres sont affectés par des symptômes de dégradation : tache d'infertilité, efflorescences. Les pratiques culturales apparaissent susceptibles de minimiser fortement l'impact des phénomènes d'alcalinisation des sols. Nous avons néanmoins observé localement un effet dépressif du pH sur la production rizicole pour des valeurs mesurées *in situ* supérieures à 7,5. Les parcelles maraîchères apparaissent plus sensibles à la dégradation et 20 % des terres seraient affectées. Les techniques de culture et d'irrigation apparaissent moins aptes à prévenir ou à contourner le problème posé par l'alcalinité des sols. En effet, la faiblesse du lessivage et la position élevée de la nappe phréatique alimentée en continu par les rigoles d'irrigation peuvent conduire à une concentration superficielle des sels préjudiciable aux cultures.

16 La structure spatiale de la salinité caractérisée par une concentration des sels dans la partie centrale des planches de culture et un fort gradient ascendant de salinité soulignent ces mécanismes. A ce stade, la dégradation des propriétés physicochimiques des sols ne semble pas en mesure d'affecter de façon signifiante la production rizicole ; elle pourrait néanmoins contrarier le développement des cultures de diversification plus sensibles à ces contraintes.

17 Cependant, la dégradation rapide des sols de levée sableuse est préoccupante. Une attention particulière devra être portée au suivi et à la prévention de ce processus. C'est aussi vraisemblablement le cas des sols cultivés hors casiers qui cumulent un certain nombre de contraintes liées à l'absence ou l'insuffisance de drainage, de planage ou de maîtrise de l'eau, sans parler des périmètres installés au fil des canaux... de drainage.

Conclusion

18 La gestion de l'irrigation et du drainage est fondamentale car elle conditionne le fonctionnement hydrologique des sols influençant directement la concentration des sels. Les évolutions les plus préoccupantes relevées sur les sols sableux, les points hauts ou les secteurs maraîchers en sont la conséquence directe. Des méthodes de prévention ou de réhabilitation efficaces pourront être identifiées par une adaptation des modalités de gestion de l'eau (irrigation et drainage) et des techniques qui lui sont associées (travail du sol et planage par exemple).

19 Les perspectives d'évolution des modalités de gestion des périmètres dans un contexte d'accroissement des superficies sont donc marquées par une aggravation des facteurs de risque liés :

- à une diminution attendue des volumes d'eau disponibles ;
- au développement des cultures de contre-saison augmentant la recharge de la nappe dont le niveau reste en permanence proche de la surface ;

- au développement d'aménagements sommaires ne répondant pas à des normes satisfaisantes concernant le planage et le réseau de drainage ;
- et enfin, à la réutilisation des eaux de drainage.

20 Ces perspectives plaident pour qu'un dispositif pérenne de suivi – de type observatoire – de l'évolution des sols en relation avec les performances de l'irrigation, du drainage et des systèmes de culture soit mis en place et intégré dans le dispositif de suivi-évaluation de l'Office du Niger.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bonneval P., Kuper M., Tonneau J.-P., 2002 – L'Office *du Niger, grenier à riz du Mali. Succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement.* Paris, Cirad-Karthala, 251 p.

Hassane A., Kuper M., 1999 – *Impact de la disponibilité en eau du fleuve Niger sur la gestion de l'eau dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali : le cas de l'étiage 1999.* Insah-IRD, Etudes et rapports Gihrex, ER43, IRD, Bamako, Mali, 65 p.

Marlet S,, N'Diaye M. K., 1998 – *Évolution temporelle et variabilité spatiale des indicateurs de la dégradation des sols par alcalinisation et sodisation à l'Office du Niger.* IER/PSI Mali, Études et travaux n ° 6, 52 p.

MDRE, 1999 – *Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger.* Bamako (Mali). Ministère du développement rural et de l'eau, rapport de synthèse, 63 p.

N'Diaye M. K., 1987 – *Évaluation de la fertilité des sols à l'Office du Niger (Mali). Contribution à la recherche des causes et des origines de la dégradation des sols dans le Kouroumari.* Thèse doct., Inst. national polytechnique de Toulouse, 134 p.

Ouvry F., Marlet S., 1999 – *Suivi de l'irrigation et du drainage, étude des règles de gestion de l'eau et bilans hydro-salins à l'Office du Niger (cas de la zone de Niono).* IER/PSI Mali, Études et travaux n° 8, 30 p.

AUTEURS

SERGE MARLET

Pédologue. Cirad-Amis, TA 40/01, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5, France,

MAMADOU KABIROU N'DIAYE

Pédologue. IER/PSI-Coraf, BP 258, Bamako, Mali,

La plaine du Yaéré dans le Nord-Cameroun

Une expérience de restauration des inondations

Daniel Sighomnou, Luc Sigha Nkamdjou et Gaston Liénou

1 Située entre les 10° et 13° de latitude Nord et les 14° et 16° de longitude Est, la province de l'extrême-nord du Cameroun est occupée par une grande plaine qui s'étend des pieds des monts Mandara au sud-ouest jusqu'au lac Tchad dans le nord, les bourrelets de berge du fleuve Logone en formant la limite est. Elle fait partie d'une vaste unité géomorphologique dénommée « cuvette tchadienne », qui s'étend entre le Cameroun, le Nigeria, le Niger et le Tchad. Une grande partie de la plaine camerounaise (8 000 km^2) est périodiquement inondée par des eaux issues essentiellement des débordements du fleuve Logone. Elle reçoit également des eaux issues des cours d'eau torrentiels des monts Mandara. Encore appelée *Yaéré* (ou « plaine périodiquement inondable » en dialecte local), cette partie de la plaine abritait jadis une population évaluée à 100 000 habitants qui vivaient essentiellement de la pêche, de l'élevage, du tourisme et des cultures de décrue. Le parc national de Waza (classé aire protégée au plan mondial), situé dans sa partie sud-ouest, abrite une flore et une faune très riches et offre un cadre propice où les oiseaux d'eau d'Europe viennent séjourner pendant la période hivernale (fig. 1).

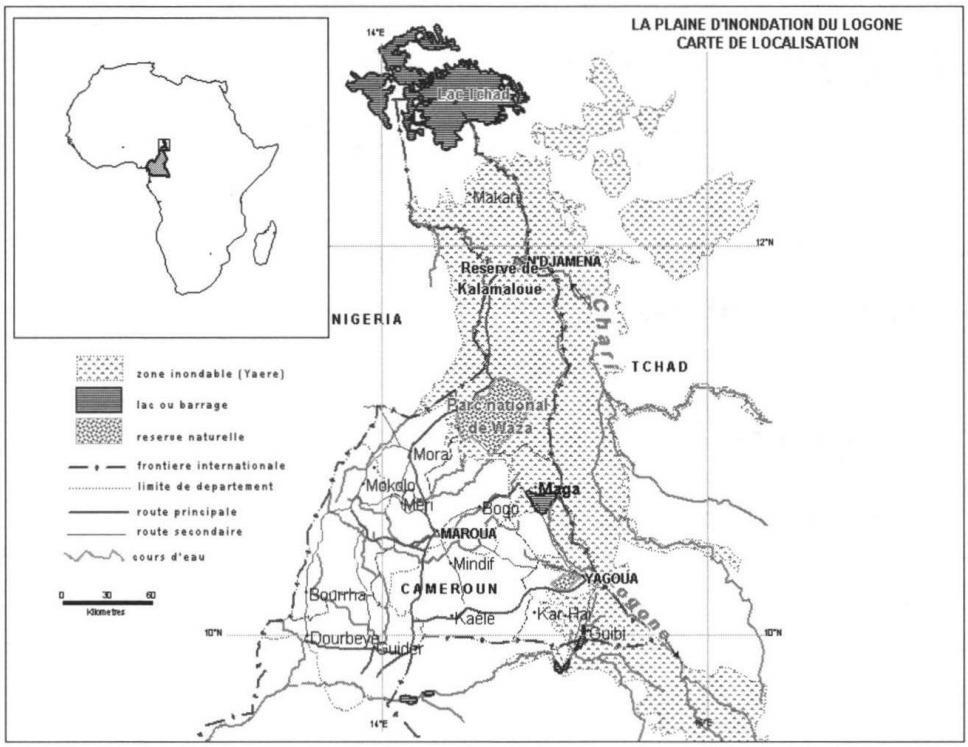


Figure 1. Carte de localisation de la plaine d'inondation du Logone.

2 Depuis le début de la décennie 70, le Yaéré subit la péjoration du régime des précipitations observée dans la sous-région de l'Afrique tropicale. Les surfaces inondées ont subi une réduction de l'ordre de 60 % (Drijver et van Wetten, 1992). Cette situation a entraîné une forte baisse de la productivité des pâturages, de l'agriculture de décrue et des activités de pêche. Dans le même temps, la capacité d'accueil de la faune sauvage a considérablement diminué. Exacerbées par les effets négatifs de cette longue sécheresse, les autorités administratives camerounaises ont cherché à modifier les modes d'utilisation habituels des ressources en eau de la région pour tenter de résoudre le problème. C'est ainsi qu'ont été entrepris les travaux d'aménagement du projet hydroagricole connu sous le nom de « Société d'expansion et de modernisation de la riziculture de Yagoua » (Semry II). Le but du projet est d'augmenter la production alimentaire en réduisant la dépendance de l'agriculture vis-à-vis des précipitations et d'améliorer ainsi les conditions de vie des populations locales et l'économie de la région. En région sahélienne, les bénéfices nets tirés de tels investissements sont d'une manière générale très limités, voire négatifs (Drijver et van Wetter, 1992). Dans le cas du Yaéré, la conjonction des conséquences de la sécheresse et de la perturbation du régime naturel du fonctionnement de l'hydrosystème du Yaéré a aggravé la situation, provoquant une dégradation poussée de la biodiversité et des activités socio-économiques.

3 Nous rappellerons dans ce qui suit les grandes lignes de la dynamique du système, les changements intervenus ainsi que leurs impacts sur le milieu naturel avant de présenter l'essai de réinondation et les résultats obtenus.

Submersion du Yaéré et changements intervenus

Le processus d'inondation de la plaine avant 1979

4 Le processus de la submersion du Yaéré est bien connu grâce aux travaux de plusieurs auteurs : Bouchardeau (1968), Bénech *et al.* (1982) et Naah (1990). Elle s'effectue en trois étapes. Au début de la saison pluvieuse, les argiles qui forment l'essentiel des sols de la plaine gonflent et deviennent imperméables. Si les eaux de pluie sont abondantes, elles remplissent les mares et forment les premières inondations dans les bas-fonds.

5 Les apports des cours d'eau des monts Mandara (0,5 à 1 milliard de mètres cubes), très chargés en limons, arrivent ensuite pour parachever cette opération. Les débordements du Logone qui apportent la masse d'eau la plus importante (3 à 4 milliards de mètres cubes) ne commencent en général qu'au début du mois de septembre. Il se crée alors une lame d'eau de 0,7 à 1,2 m qui recouvrira la plaine durant trois à quatre mois. Quand s'amorce la décrue du fleuve, une partie des eaux d'inondation y retourne suivant un mouvement de reflux, mais une bonne partie est perdue par évaporation dans la plaine alors que l'autre a rejoint le lac Tchad par l'une des principales portes de sortie de la plaine que constitue l'EI Béid.

Les aménagements de la Semry

6 En vue de la protection des populations riveraines et des périmètres cultivés le long du fleuve, des travaux d'endiguement avaient été entrepris depuis les années 1950 sur les deux rives du Logone en aval de la localité de Bongor. Ces travaux se sont poursuivis et en 1979, ils ont été parachevés, côté camerounais, par la construction du barrage de retenue d'eau de Maga et des 20 derniers kilomètres de digue entre les localités de Pouss et Tékélé, dans le cadre d'un projet hydroagricole dénommé Semry II. D'une capacité de 600 millions de m d'eau à sa cote de remplissage, pour une superficie de 39 000 ha, le lac de Maga reçoit ses eaux essentiellement des mayo Tsanaga et Boula issus des monts Mandara. Il est alimenté également par le mayo Guerléou, principal défluent du Logone dans la localité de Yagoua. Quand les volumes d'eau apportés par ces cours d'eau ne peuvent pas satisfaire à eux tous seuls les besoins de la retenue, un volume complémentaire est prélevé dans le Logone au moyen d'un canal équipé de vannes, aménagé au niveau de la localité de Djafga. A environ 35 km plus au Nord dans la localité de Pouss, le lac communique à nouveau avec le Logone à travers un déversoir long de 750 m. Ce dernier fonctionne dans le sens Logone-lac, ou inversement, en fonction de la cote du plan d'eau dans le barrage et dans le fleuve. Il est donc utilisé à la fois comme une voie d'entrée d'eau ou comme évacuateur de crue, et détourne alors le trop-plein du lac (plus de 500 millions de m^3 en moyenne chaque année, de 1994 à 1997) vers le Logone.

7 Les études antérieures (Naah, 1990 ; Sighomnou et Naah, 1997) ont montré que l'absence des inondations enregistrée dans le Yaéré résulte des effets conjugués de la péjoration climatique des trente dernières années et des aménagements de la Semry. En effet, la présence des digues limite les débordements du Logone vers la plaine, alors que la rétention des eaux chargées en limons de la Tsanaga et du Boula dans le barrage de Maga prive la plaine des limons et autres minéraux dissous qui jouent un rôle important sur sa fertilité. Il en résulte une réduction des surfaces inondées de l'ordre de 60 %, une forte

baisse de la productivité des pâturages, de l'agriculture de décrue et des activités de pêche. Dans le même temps, la capacité d'accueil de la faune sauvage a considérablement diminué. Les travaux entrepris sur le terrain depuis 1993 par le projet Waza-Logone (PWL) ont montré que certaines conséquences négatives sur l'environnement auraient été évitées si des dispositions appropriées avaient été prises dans le cadre des travaux d'aménagement de la Semry. C'est alors qu'un essai de réinondation a été envisagé tout en préservant les installations agricoles existantes.

Essai de réinondation du Yaéré

8 Des études topographiques et une analyse détaillée du mécanisme de submersion de la plaine ont montré que la création des conditions favorables au rétablissement des inondations (au moins partielles) sur des secteurs de la plaine privés d'eau depuis 1979 était possible, sans perturber les installations hydroagricoles en place (Naah, 1993). Un « essai pilote » de réinondation a donc été entrepris en mai 1994, en vue de rassembler un maximum d'informations qui permettraient d'assurer une inondation efficace et optimale de toute la zone sinistrée. Il consiste à la réouverture de certaines voies d'eau fermées dans le cadre des aménagements de la Semry, de sorte à provoquer une inondation dans un secteur de la plaine assez limité pour être facilement contrôlable. L'évaluation de l'impact de cette inondation à petite échelle permettrait alors de comprendre et maîtriser l'option finale qui vise l'inondation complète de la plaine.

9 Au mois de mai 1994, une ouverture d'environ 15 mètres de large a été aménagée dans la digue en terre qui fermait l'entrée du lit du défluent Petit Goroma dans la localité de Tékélé. Cette ouverture permet l'écoulement d'un débit maximum de 20 $m^3 s^{-1}$ en période de crue. Les résultats encourageants enregistrés ont conduit à l'ouverture d'un deuxième défluent, l'Aréitékélé en 1997 (avec un débit maximum de 10 $m^3 s^{-1}$), afin d'accroître le volume des entrées d'eau dans la plaine. Le contrôle des apports et des sorties des eaux dans la zone d'impact de l'essai pilote en particulier, et dans la plaine en général, est assuré par 34 stations hydro-pluviométriques installées dans le secteur. Un quadrillage topographique représentant un réseau maillé de piquets (274 au total) placés sur des points d'altitude connue de la « zone pilote » a été mis en place pour le contrôle des inondations. Le suivi des variations du plan d'eau dans cette zone est assuré par une équipe de 25 observateurs (Sighomnou *et al.*, 1995). Le relevé de la cote du plan d'eau au niveau des piquets est assuré tous les deux jours. Dans le même temps, des équipes spécialisées contrôlent les modifications induites sur la faune et la flore ainsi qu'au niveau socio-économique.

Résultats

Sur les inondations

10 Les principaux résultats enregistrés pendant les campagnes de mesures de 1994 à 1997 sont donnés dans le tableau 1. Ils montrent que les différentes campagnes de mesures se sont déroulées dans des conditions d'hydraulicité proches de la moyenne. Avec un débit maximum de l'ordre de 30 $m^3 s^{-1}$ (soit 160 millions de m^3 en volume total écoulé), obtenus à la faveur des deux voies d'eau ouvertes en 1994 et 1997, on a abouti à des inondations qui sont allées au-delà de la zone d'impact escomptée. La reprise des précipitations

amorcée en 1994 dans la région après près de 30 années de sécheresse pourrait probablement être considérée comme le seul facteur de cette reprise des inondations.

Tableau 1. Résultats de l'essai pilote de l'inondation de la plaine du Yaéré de 1994 à 1997. Le volume écoulé du Logone est calculé pour les trois mois les plus pluvieux (août, septembre, octobre). Toutes les inondations se sont étendues au-delà de la zone pilote escomptée. A titre de rappel, la moyenne du volume des écoulements sur les trois mois considérés est évaluée à 8 216 1 0^6 m^3, alors que la pluie moyenne interannuelle sur le Yaéré est de l'ordre de 600 mm.

Année	Pluie moyenne sur le Yaéré (mm)	Volume écoulé du Logone à Pouss (10^6 m^3)	Volume écoulé vers la plaine (10^6 m^3)	Profondeur moyenne des inondations (m^{-2})	Durée des inondations (jours)
1994	650	7 895	123	35 à 45	50 à 60
1995	581	7 701	118	30 à 50	40 à 50
1996	653	7 946	126	40 à 60	50 à 60
1997	533	7 342	160	30 à 50	?

11 Cependant si la quantité d'eau écoulée vers la plaine à travers les deux voies d'eau aménagées représente un très faible volume par rapport au volume total des eaux d'inondation, cette réouverture des anciens défluents a conduit en particulier à une restauration de la dynamique du Logomathia qui assure le transit de la majeure partie des eaux de submersion du Yaéré. Il en a résulté une amorce plus précoce des inondations et la submersion du secteur sud de la plaine qui n'avait plus reçu d'écoulement depuis la fin des travaux en 1979. L'utilisation de l'imagerie satellitaire, complétée par des enquêtes sur le terrain, a permis de déterminer les contours exacts des surfaces inondées. Les résultats montrent qu'en dehors de l'année 1988 où les conditions d'hydraulicité étaient exceptionnelles, les inondations enregistrées de 1994 à 1997 ont couvert une superficie en moyenne de 300 km^2 supérieure à toutes celles enregistrées dans la plaine depuis la fin des travaux d'aménagement de la Semry en 1979, même pour des conditions d'hydraulicité voisines (PWL, 1996).

Sur la flore et la faune

12 Les études menées dans la plaine du Yaéré dans le cadre du projet de réinondation (Sighomnou *et al.*, 1999) ont montré que la baisse ou l'absence des inondations ont conduit à une transformation de la végétation, à la destruction des habitats de la faune aquatique et terrestre, à la dégradation de la productivité des terres cultivées et de la qualité des pâturages. Sur le plan de la végétation, des analyses ont montré que les espèces végétales caractéristiques des zones inondées – comme le *Vetiveria nigrita* et l'*Echinochloa pyramidalis,* plus riches en protéines et bien appréciées des animaux – ont été remplacées par des espèces ligneuses comme le *Sorghum arundinaceum* moins appréciées. Avec la reprise partielle des inondations consécutive à l'essai pilote, on a noté dans l'ensemble une diminution progressive des herbacées annuelles au profit des espèces pérennes. En particulier, on a relevé une inversion des tendances, les surfaces occupées depuis la baisse des inondations par le *Sorghum arundinaceum* étant recolonisées progressivement par le *Vetiveria nigrita* et l'*Echinochloa pyramidalis.* Le tableau 2 montre l'évolution du

recouvrement des espèces du début de l'essai pilote en 1994 jusqu'à l'année 1996 (Rapport Interne PWL, 1997).

13 Sur le plan de la faune, il est évident que la réduction des surfaces inondées et la dégradation des pâturages conduisent à une baisse des cheptels, aussi bien pour la faune sauvage que domestique. En ce qui concerne les ressources halieutiques, le cycle biologique des poissons étant en harmonie avec les inondations, leur productivité est largement fonction des superficies et de la durée des inondations. La superficie des zones inondées revêt également une importance primordiale pour les oiseaux migrateurs qui doivent y accumuler l'énergie suffisante pour leur voyage retour en direction du nord à travers le Sahara.

Tableau 2. Évolution du recouvrement des espèces végétales au cours de l'essai pilote de réinondation de la plaine du Yaéré (en pourcentage).

Espèces	1994	1995	1996
annuelles	68,1	58,6	50,8
pérennes	30,7	38,5	45,0
ligneuses	1,1	2,8	4,2

Source : PWL, 1997.

Sur le plan socio-économique

14 La conjonction de tous les effets énumérés ci-dessus a conduit à une dégradation poussée des conditions de vie des populations vivant dans la plaine. En conséquence, on a assisté à une forte migration vers les villes et vers des endroits où les conditions de vie sont plus propices. La reprise partielle des inondations effectuées dans le cadre de l'essai pilote semble avoir amorcé un retour des activités socio-économiques en même temps qu'une restauration des systèmes écologiques de la plaine.

15 On a alors enregistré le retour de certaines familles dans la région, attirées par la reprise des activités économiques et la restauration des formes traditionnelles d'utilisation des sols. Il convient cependant de souligner que la reprise des inondations a également conduit à la recrudescence de certaines maladies liées à l'eau, de même que renaissent les conflits sociaux entre les différents groupes de populations (agriculteurs, éleveurs, pécheurs, commerçants, etc.) aux intérêts parfois contradictoires. Un nouvel équilibre devrait cependant renaître afin de favoriser la reprise des activités naturelles de la plaine pour une gestion plus durable.

Conclusion

16 Une bonne gestion des ressources en eau exige une politique globale, gage de la maîtrise d'un développement acceptable socialement, biologiquement et écologiquement pour les générations actuelles et futures. Dans cette optique, la connaissance préalable de l'impact

des projets d'aménagement sur le milieu naturel est indispensable, afin de permettre d'ajuster leur conception de sorte à éviter les conséquences négatives inutiles.

17 La fragilité des écosystèmes des « zones humides » et l'obligation de plus en plus reconnue de leur sauvegarde pour la protection de la diversité biologique impose la prise en compte des aspects environnementaux dans la gestion intégrée des ressources. On peut cependant noter que certaines transformations enregistrées au plan de la diversité biologique, en l'absence des inondations, sont réversibles à très court terme en cas de reprise des submersions.

Remerciements

18 Les auteurs remercient les gouvernements camerounais et néerlandais, ainsi que les responsables des organismes suivants : l'Union mondiale pour la nature (UICN), le « projet Waza Logone », le Centre de recherches hydrologiques du Cameroun, la Commission du bassin du lac Tchad.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bénech V., Quensière J., Vidy G., 1982 – Hydrologie et physico-chimie des eaux d'inondation de la plaine d'inondation du Nord-Cameroun. *Cah. Orstom, sér. hydro !.*, 19 (1) : 15-36.

Bouchardeau A., 1968 – *Monographie hydrologique du Logone.* Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 770 p.

Drijver C. A., van Wetten J. C. J., 1992 – *Les zones humides sahéliennes à l'horizon 2020. Modifier les politiques du développement ou perdre les meilleures ressources du Sahel.* Leyde, Pays-Bas, Birdlife international, 72 p.

Naah E., 1990 – *Hydrologie du grand Yaéré du Nord Cameroun.* Thèse doct. Sc., univ. Yaoundé, 254 p.

Naah E., 1993 – *Restauration hydro-technique de la plaine du Yaéré de l'extrême Nord Cameroun : campagne hydrologique 1993, Maroua.* Projet Waza Logone, Yaoundé, 68 p.

PWL, 1996 – *Synthèse des résultats des études comparatives des situations socio-économiques des villages de la zone pilote du Projet Waza-Logone : campagnes 1994/1995 et 1995/1996.* Rapport interne PWL, Yaoundé.

PWL, 1997 – *Workshop sur les activités du Projet Waza Logone.* Rapport interne PWL, Yaoundé.

Sighomnou D., Bedimo J.-P., Ayissi G. I., Nlozoa J., Nkoa Foe A., 1995 – *Restauration hydro-technique de la plaine du Logone dans l'extrême Nord Cameroun. Essai pilote de réinondation : campagne hydrologique 1994.* Doc. du Centre de recherches hydrologiques, Yaoundé, 141 p.

Sighomnou D., Naah E., 1997 – « Gestion des ressources en eau et développement durable : un exemple dans la province de l'extrême Nord Cameroun ». *In* : Actes du symposium Friend'97, octobre 1997, *IAHS publ.,* 246 : 355-363.

Sighomnou D., Sigha Nkamdjou L., Molinier M., 1999 – « Influence des prélèvements pour irrigation sur l'hydrosystème du lac Tchad : exemple des aménagements hydro-agricoles de la Semry dans l'extrême nord Cameroun ». *In : Hydrological and geochemical processes in large scale river basin,* International symp., Manaus (Brazil), juillet 1999.

AUTEURS

DANIEL SIGHOMNOU

Hydrologue. Centre de recherches hydrologiques, BP 4110, Yaounde, Cameroun,

LUC SIGHA NKAMDJOU

Hydrochimiste. Centre de recherches hydrologiques, BP 4110, Yaounde, Cameroun,

GASTON LIÉNOU

Hydrologue. Centre de Recherches Hydrologiques, BP 4110, Yaounde, Cameroun,

Partie 3. Stratégies d'exploitation en zones inondables tropicales

Stratégies d'exploitation en zones inondables tropicales

Marcel Kuper

1 Les zones inondables tropicales sont souvent des milieux traditionnellement exploités par l'homme. Pêcheurs, éleveurs, agriculteurs, forestiers et autres sillonnent les milieux inondables dans lesquels les ressources naturelles renouvelables sont abondantes. Les habitants de ces zones ont su pérenniser un mode de vie et d'exploitation en équilibre avec le milieu naturel. A l'image des ressources naturelles renouvelables, ces systèmes de production traditionnels sont caractérisés par une adaptabilité continue aux aléas naturels. Ces adaptations se font dans le temps suivant le rythme de la crue – et dans l'espace – en exploitant les ressources naturelles là où elles sont disponibles.

Conditions naturelles, exploitations traditionnelles et aménagements

2 Les écosystèmes quasi naturels subissent de fortes pressions en vue d'aménager ou de maîtriser la circulation de l'eau, comme le souligne J.-M. Fritsch (hydrologue à l'IRD et à l'OMM) dans un article du journal Libération les 29/30 juillet 2000 (titré « La nature subira des prélèvements insupportables ») : « La mappemonde de l'an 2000 comporte des zones humides d'extension considérable telles que les deltas intérieurs du fleuve Niger ou de l'Okavango, le Grand Lac du Cambodge et bien d'autres plus modestes et moins exotiques, qui constituent autant de lieux où "l'eau se perd" au sens du gestionnaire de ressources minérales. Ces zones sont souvent situées au cœur ou à proximité immédiate de régions sèches, à forte croissance démographique et à fort potentiel de développement. Il n'est pas nécessaire d'être un Cassandre patenté pour considérer que ces "gisements environnementaux" feront l'objet de pressions considérables et il n'est pas certain que l'autorité politique aura partout et toujours la force, la clairvoyance ou la vertu de tempérer les convoitises de l'affairisme et d'imposer des solutions alternatives, moins commodes, plus coûteuses et donc moins rentables à court terme ». La transition de systèmes naturels vers des systèmes aménagés est justifiée par de multiples raisons

allant du développement rural ou de la sécurité alimentaire au simple souhait d'aménager le territoire, dans le sens de gestion et de maîtrise (avec parfois le désir sous-jacent de contrôler des populations nomades). Or cette recherche de l'artificialisation – ou de contrôle – de la nature rencontre de plus en plus de difficultés. D'un côté, il s'agit de revaloriser des systèmes de production traditionnels, auparavant considérés comme archaïques et non-efficients, actuellement reconsidérés dans une optique environnementale associée à la prise en compte de contraintes sociales (afin, par exemple, de combattre l'exode rural) ; les débats sur la multi fonctionnalité de l'agriculture en France vont dans ce sens. D'un autre côté, les impacts négatifs des aménagements hydroagricoles sont fortement critiqués ; la polémique autour du barrage de Narmada en Inde et le retrait de la Banque mondiale dans le financement de cet ouvrage en sont un exemple. Le financement de tels ouvrages est actuellement conditionné par des études d'impact environnemental et social, et il est fort probable que nombre d'aménagements hydrauliques déjà réalisés ne passeraient plus le stade de projet dans leur configuration actuelle.

3 *In fine,* l'usage des eaux issues des aménagements hydroagricoles n'apporte pas toujours les résultats attendus. Honoré Dacosta et ses co-auteurs mettent en évidence le gaspillage de l'eau d'un périmètre irrigué dans la vallée de l'Anambé au Sénégal et le faible taux d'intensité culturale des surfaces aménagées. En revanche, l'article montre bien que l'opportunité d'une meilleure disponibilité en eau a été saisie par les agriculteurs, qui ont su aménager avec leurs propres moyens des parcelles irriguées par une infrastructure rudimentaire, en dehors des aménagements « officiels ». Cette dynamique paysanne permet de nuancer le constat d'échec de la mise en valeur de ce bassin. Une conséquence de l'aménagement des systèmes fluviaux sera donc l'accroissement de la dépendance des utilisateurs d'eau et des riverains à l'égard de la gestion des ouvrages, tout en diminuant leur dépendance aux conditions hydroclimatiques. L'exemple de l'étiage artificiel du fleuve Niger de juin 1999 à Bamako à l'aval du barrage de Sélingué, analysé par Marcel Kuper et ses coauteurs, montre bien les conséquences néfastes d'une gestion non concertée des aménagements d'un système fluvial. Cependant, les nombreux cas d'inondations de zones habitées situées dans des plaines inondables – comme les inondations de l'hiver 2000/2001 en Bretagne liées à la concomitance d'une pluviométrie élevée et d'aménagements du cours supérieur des rivières qui ont eu pour conséquence une accélération du transfert de l'eau vers l'aval – rappellent que l'aménagement du territoire nécessite aussi une prise en compte permanente des réalités hydroclimatiques !

4 Les travaux de Quensière (1994) sur le delta intérieur du Niger au Mali, actualisés par Amaga Kodio et ses co-auteurs, ont mit en exergue la capacité de résilience du milieu naturel d'une zone inondable tropicale en ce qui concerne la vie aquatique. De même, la variabilité hydroclimatique conditionne la sélection des différentes espèces de flore et de faune, qui savent résister à une disponibilité en eau capricieuse. Les pressions exercées par les systèmes de production traditionnels tiennent compte de cette résilience. Quensière (*ibid*) montre en effet que la ressource poisson n'est pas menacée par ces systèmes ; c'est l'artificialisation de l'écosystème avec un milieu plus stable et des espèces adaptées, qui entraînerait des risques de surexploitation, si les systèmes de production n'étaient pas modifiés. Les changements de régime hydrique méritent donc d'être étudiés dans une vision globale de l'écosystème. Les études sectorielles « d'impact environnemental » n'insistent pas assez sur l'enchaînement des impacts d'un aménagement des espaces. Benjamin Ngounou-Ngatcha et ses co-auteurs, puis Olivier

Hamerlynck et ses co-auteurs analysent (*ex-post*) des cas de plaines inondables en Mauritanie et au Cameroun affectées durement par la disparition de la crue suite à la construction de barrages. Olivier Hamerlynck *et al.* exposent également des expériences intéressantes de réhabilitation des zones humides par la production de crues artificielles.

5 La recherche scientifique a donc un rôle important à jouer dans l'analyse *ex-ante* des projets d'aménagements, dans l'apport de connaissances sur les articulations entre milieux et systèmes de production, et sur la capacité d'adaptation des systèmes de production et des contraintes sociales. C'est le cas dans le projet d'extension proposé par le schéma directeur de l'Office du Niger au Mali (le périmètre irrigué passerait de 67 000 ha actuellement à plus de 150 000 à l'horizon 2020), comme l'a exprimé son Président-Directeur Général dans le discours prononcé pendant le séminaire GIRN-ZIT : « Il convient donc de mettre en place un programme de suivi de la situation environnementale pour prévenir ces risques [environnementaux] et apporter les correctifs nécessaires ». Les risques sont effectivement majeurs et pas seulement d'ordre environnemental (Bonneval *et al.*, 2002). L'analyse *ex-ante* de l'impact d'une augmentation des prélèvements de ce périmètre irrigué sur l'étendue des inondations dans le delta intérieur du Niger et sur la dynamique des différents systèmes de production (pêche, élevage, cultures traditionnelles) mérite un investissement important de la part de la recherche.

Des milieux ouverts, hétérogènes et changeants

6 Les stratégies d'exploitation des ressources naturelles renouvelables sont souvent abordées par des approches de filière, où l'on analyse la séquence de procuration des intrants, production, transformation, commercialisation et enfin consommation du produit agricole concerné (riz, viande, poisson, etc.). Plus rares sont les études où l'on croise des analyses sur la ressource et un système d'exploitation (*e.g.* Quensière, 1994) ou sur les articulations entre la dynamique des ressources naturelles et de leurs multiples usages. On peut faire référence à la théorie des systèmes, appliquée aux systèmes agraires (*e.g.* Sebillote, 1994). Cette approche apporte un cadre formel de représentation des systèmes de production et permet une analyse (historique) des liens entre les différents systèmes. Dans le contexte d'un périmètre irrigué ou d'un bassin versant, il existe en plus une forte interdépendance entre les multiples usagers et donc « *l'obligation d'organiser et réglementer l'accès à la ressource commune* », comme le soulignent Molle et Ruf (1994). Cette obligation d'équilibre entre différents usages exige une vision d'ensemble de l'écosystème. Cette vision est particulièrement présente quand on interroge les habitants d'une zone inondable tropicale, habitués à changer de filière et d'endroit quand l'occasion s'offre ou que la nécessité les y oblige. Mais elle est plus rare auprès des administrateurs, des politiques, des chercheurs... En outre, l'étude des systèmes d'exploitation dans les zones inondables tropicales est compliquée par l'imbrication des différents usages dans le temps et dans l'espace. Mettre en évidence ces imbrications permet de comprendre les stratégies des exploitants et les contraintes induites par le milieu sur ces stratégies. De plus, les habitants de ces zones ont souvent un pied en dehors – un oncle en ville, un frère commerçant –, ce qui permet de survivre quand les conditions hydroclimatiques ne sont pas réunies pour assurer le budget familial, d'où la nécessité d'une analyse tenant compte aussi de cette notion de système ou réseau ouvert. En effet, les systèmes d'exploitation traditionnels dans les zones inondables tropicales sont souvent caractérisés par une forte mobilité dans l'espace. Une zone exploitée telle année ou à tel moment ne l'est pas

l'année suivante ou une semaine après. En fonction de la régénération des ressources naturelles et des droits d'accès coutumiers, les exploitants se déplacent pour mieux exploiter ces ressources. La réaction rapide aux conjonctures climatiques, politiques, économiques, traduisant la flexibilité du système à des conditions toujours nouvelles, est le gage d'une certaine durabilité des systèmes d'exploitation. L'aménagement du territoire et l'intervention de l'Etat (décentralisation, réglementation) peuvent avoir comme conséquence une limitation de cette mobilité, et donc de la capacité de réaction. Cependant, les aménagements peuvent bien sûr avoir des conséquences positives qui n'étaient pas anticipées. Il est alors intéressant d'étudier comment les exploitants s'adaptent à une nouvelle situation et d'établir leurs interactions avec le milieu. Soumana Alhousseini montre ainsi la réussite d'une activité économique (la pêche) qui n'existait pas ou peu avant la construction du barrage de Manantali sur le haut bassin du fleuve Sénégal. Les exploitants et les commerçants ont su surmonter les difficultés liées à la colonisation agricole et halieutique de ce site enclavé.

7 Une autre contrainte est aussi la variabilité du milieu exploité (topographie, disponibilité en eau...) qui est forte. Il s'y ajoute des stratégies d'exploitation nombreuses et variées selon les familles, comme le montrent les articles de Amadou Kodio, de Odiaba Samaké et Amadou Kodio, puis de Issa Bakayoko. Cette hétérogénéité est un atout dans les conditions quasi naturelles des écosystèmes inondables tropicales où toutes les ressources renouvelables sont exploitées. On peut alors se demander si en cas d'aménagement, une homogénéisation des unités de production se produirait réellement. La diversification des activités des habitants des zones inondables tropicales (pêche, agriculture, élevage, foresterie, commerce...) peut être interprétée comme la réponse des exploitants à une situation considérée comme instable : pour diminuer le risque d'un échec de la récolte dans l'un des systèmes, on s'engage dans plusieurs secteurs. Il existe peu d'études pour quantifier les engagements dans les différents systèmes d'exploitation et pour qualifier cette intégration par les habitants de secteurs de production multiples.

8 Ces dernières décennies, des changements rapides et brutaux ont bouleversé les zones inondables tropicales : sécheresses successives, croissance démographique, monétarisation des échanges, nouvelles technologies, ouverture à l'économie de marché, libéralisation, décentralisation politique... Ainsi par exemple, la superficie cultivée en riz dans le delta intérieur du Niger aurait augmenté de 30 % entre 1952 et 1971 grâce à l'adoption massive de l'agriculture attelée (Gallais, 1984). On ne peut certes pas imputer tous les conflits d'occupation des terres entre éleveurs et agriculteurs à cette adoption, mais qu'elle ait une influence paraît évident. Jérôme Marie dédie son article à cette cohabitation difficile mais nécessaire dans le delta intérieur du Niger et prend la défense de l'élevage transhumant... De même, on peut se demander si la resilience de la ressource poisson pourrait supporter l'introduction d'un équipement industriel tel que connaît déjà la pêche maritime (à supposer que l'industrialisation soit techniquement possible). D'autres exemples de changement sont plus positifs. Tchotsoua et ses co-auteurs analysent le changement intervenu dans une zone inondable près de Ngaoundéré au Cameroun. Face à une demande croissante et variée de produits maraîchers, une agriculture périurbaine s'est construite au dépens d'un élevage extensif. Mathieu Doray et ses co-auteurs montrent l'intérêt d'une approche d'innovation technologique à l'échelle locale maîtrisée par la population et favorisant l'émergence d'une nouvelle forme de développement. Ce développement local était également l'objectif de l'installation des petits périmètres irrigués dans le delta intérieur du Niger au Mali.

Raphaële Ducrot et ses coauteurs montrent que la dynamique de ces périmètres impulsés de l'extérieur par des ONG a été repris par les populations locales en dehors de la zone d'intervention avec l'implantation de périmètres privés. Ces exemples montrent bien qu'il ne faut pas négliger les choix stratégiques des exploitants pour l'analyse de la gestion des ressources naturelles renouvelables (Chaboud et Gillon, 2000), et plus particulièrement en zones inondables tropicales.

Conclusion

9 Le bilan des recherches en zones inondables tropicales reste mitigé. D'un côté, la recherche a réussi à analyser et décrire le fonctionnement hydrologique, la régénération des ressources naturelles et les systèmes d'exploitation dans ces zones (Brunet-Moret *et al.*, 1986 ; Gallais, 1984 ; Gepis, 2000 ; Gillon *et al.*, 2000). D'un autre côté, la compréhension du fonctionnement du système complexe que constituent ces zones, reste peu partagée au-delà du cercle restreint des chercheurs. En même temps, la valeur ajoutée des produits issus de ce milieu n'a guère évoluée. Marcel Kuper et Hamadoun Maïga montrent par exemple le faible taux de commercialisation du riz flottant dans le delta intérieur du Niger (à comparer avec le riz « rouge » de la Camargue). Pour améliorer cette valeur ajoutée, une synthèse et un partage des connaissances existantes sont nécessaires afin de définir des orientations de recherche adaptées pour contribuer à sécuriser l'élevage transhumant, améliorer l'agriculture traditionnelle (itinéraires techniques, nouvelles variétés) et intensifier la pêche. La question générique reste la suivante : comment assurer la transition entre une situation d'intensification de l'exploitation vers une situation de gestion des ressources renouvelables afin d'assurer de meilleures conditions de vie pour les populations concernées tout en conservant la biodiversité d'écosystèmes aussi originaux, riches et sensibles que les zones inondables tropicales ?

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.-P., Molinier M., 1986 – *Monographie hydrologique du fleuve Niger.* Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 2 tomes, 902 p.

Chaboud C, Gillon Y., 2000 – « Une préoccupation mondiale pour les ressources renouvelables ». *In* Gillon Y., Chaboud C, Boutrais J., Mullon C. (éd.) : *Du bon usage des ressources renouvelables,* Paris, IRD, coll. Latitudes 23 : 17-25.

Bonneval P., Kuper M., Tonneau J.-P (éd.), 2002 – *L'Office du Niger, grenier à riz du Mali : succès politiques, transitions culturelles et politiques de développement.* Paris, Cirad-Karthala, 256 p.

Gallais J., 1984 – *Hommes du Sahel, espaces-temps et pouvoirs, le delta intérieur du Niger, 1960-1980.* Paris, Flammarion, 289 p.

Gepis, collectif, 2000 – *Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes.* Gland, Suisse, UICN, 214 p.

Gillon Y., Chaboud C, Boutrais J., Mullon C. (éd.), 2000 – *Du bon usage des ressources renouvelables.* Paris, IRD, coll. Latitudes 23,305 p.

Molle F., RufT., 1994 – « Eléments pour une approche systémique du fonctionnement des périmètres irrigués ». *In* Sebillote M. (éd.) : *Recherches-système en agriculture et développement rural,* Montpellier, Cirad : 114-118.

Quensière J. (éd.), 1994 – *La pêche dans le delta central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Sebillote M. (éd.), 1994 – *Recherches-système en agriculture et développement rural.* Montpellier, Cirad, symposium international, 1006 p.

AUTEUR

MARCEL KUPER

Hydraulicien. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France,

Adéquation de l'offre et de la demande en eau

Dynamique hydrologique de l'Anambé (Sénégal)

Honoré Dacosta, Adrien Coly et Pape Ousmane Soumaré

1 La recherche de la sécurité alimentaire par les pays soudano-sahéliens – durement frappés par les déficits pluviométriques observés depuis 1970 – a conduit le Sénégal à initier comme ses voisins des politiques d'aménagement et de gestion des ressources en eau à l'échelle des bassins versants. Dans ce cadre, la « Société de développement agricole et industriel » (Sodagri) a été chargée de l'aménagement du bassin de l'Anambé, affluent de la Kayanga en Casamance (sud du Sénégal), dont la partie centrale est une vaste cuvette inondable de l'ordre de 16 000 ha. Les objectifs initiaux étaient la gestion intégrée des ressources naturelles avec une intégration agriculture, élevage et pêche continentale. Après de nombreux aménagements durant deux décennies, une analyse fine de la gestion de la cuvette montre d'une part, que le système de l'Anambé fonctionne dans un contexte de déficit hydrique évalué à près de 60 % de la moyenne pour la décennie 1990, et cela malgré la reprise de la pluviométrie observée depuis 1992 (Soumaré, 1999). Les effets cumulés de la sécheresse récente se font toujours sentir sur la disponibilité des réserves en eau des différents barrages qui n'arrivent pas à se remplir. D'autre part, l'examen du système utilisateur permet d'observer de nombreuses défaillances dans les usages de la ressource en eau, notamment pour l'agriculture, principale consommatrice d'eau. Le bilan de l'eau présente une efficience à l'irrigation de près de 65 % qui, à elle seule, met en cause la qualité des aménagements réalisés et les pratiques utilisées en matière d'irrigation (comme l'arrosage, l'entretien des canaux, ...).

2 La présente communication analyse l'adéquation entre l'offre et la demande en eau dans cette plaine inondable pour essayer de comprendre les causes des dysfonctionnements constatés au niveau de la gestion de la ressource en eau.

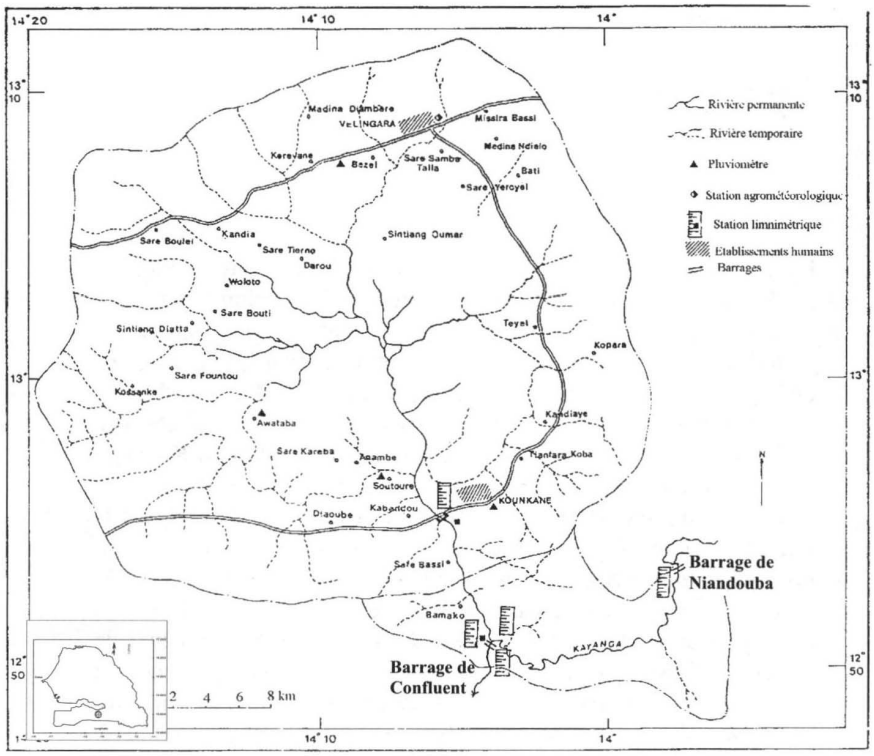


Figure 1. Situation et carte du bassin versant de l'Anambé (Casamance, Sénégal).

Cadre physique

3 L'Anambé, affluent de la Kayanga qui prend sa source en République de Guinée, draine un bassin versant de 1 100 km^2. L'Anambé coule suivant une orientation nord-sud jusqu'à sa confluence avec la Kayanga, à 10 km au sud de Kounkané (Dacosta et Gomez, 1998). Le bassin de l'Anambé a une forme presque circulaire avec un pédoncule qui le relie à la Kayanga (fig. 1). L'Anambé et ses affluents ont un tracé assez complexe. En effet, si son axe principal a un tracé simple, la forme de la cuvette crée une ramification importante des affluents de troisième ordre en rive droite, avec une convergence du réseau secondaire vers le centre de la cuvette (fig. 1). La rive gauche, quant à elle, reçoit quelques tributaires à écoulement temporaire. Les unités de paysages sont les suivantes, en allant du centre vers la périphérie (Soumaré, 1999) :

- *la plaine centrale* d'inondation dont les pentes sont très faibles (0,1 %) avec le chenal de l'Anambé : elle s'étend jusqu'à la cote 21 m, la submersion y est prolongée en-dehors de la saison des pluies à cause des difficultés de drainage au niveau du canal exutoire ; en saison sèche, une forte dessiccation affecte les sols à forte teneur en argile ;
- *les terrasses inférieures* forment un ensemble de terrasses à pentes comparables à celle de la plaine d'inondation, elles s'étendent jusqu'aux altitudes 24 m ; la jonction avec la plaine d'inondation et les terrasses supérieures se fait par des ruptures de pentes (de l'ordre de 0,3 %) ;
- *les terrasses supérieures* font suite aux précédentes et couvrent une superficie d'environ 16 010 ha, où l'essentiel des aménagements est localisé (phases I et II a) ;

- *les pentes sableuses* (cote 26 m) correspondent au glacis et constituent la zone de transition vers les plateaux cuirassés qui forment le haut de la toposéquence (altitude supérieure à 28 m).

4 Les formations géologiques superficielles de l'ensemble de la zone sont constituées par le Continental terminal qui surmonte le socle. Elles sont formées de sédiments continentaux, notamment de grès hétérométriques argileux bariolés qui, par endroit, deviennent sablo-argileux en fonction de la topographie (Michel, 1973 ; Le Priol, 1983). Sur le plan géomorphologique, le relief est constitué de bas plateaux disséqués par un réseau hydrographique peu dense. Le raccordement des plateaux à la cuvette se fait par un système de glacis et de terrasses, souvent composites, conduisant au thalweg qui est peu encaissé. Les pentes longitudinales et transversales sont assez faibles et varient suivant les éléments de la toposéquence. Cette faiblesse des pentes dans le bassin de l'Anambé est à l'origine de la submersion de la partie centrale de la cuvette où se concentrent pendant la saison des pluies toutes les eaux de ruissellement provenant des plateaux alentour.

5 En ce qui concerne les sols, de nombreux travaux ont porté sur les différentes unités pédologiques mais aussi sur les processus qui régissent leur évolution. Dans le bassin de l'Anambé, on distingue trois grandes unités en allant des plateaux à la cuvette :

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés sur les pentes sableuses et les plateaux avec un faciès sableux à sablo-limoneux ;
- les sols hydromorphes sur les terrasses supérieures et les bordures des vallées avec un faciès limoneux à argilo-sableux ;
- les sols vertiques dans la plaine centrale d'inondation où ils présentent un faciès argileux à limoneux.

Disponibilités en eau

6 Les ressources en eau de l'Anambé sont constituées par les apports pluviométriques et les écoulements de la Kayanga détournés par le barrage Confluent pour le remplissage de la cuvette de l'Anambé. Les unes et les autres dépendent du régime climatique caractérisé par l'alternance d'une saison sèche assez courte et d'une saison des pluies plus longue.

Apports pluviométriques

7 Le bassin versant de l'Anambé appartient au domaine climatique soudanien avec une saison des pluies allant de juin à octobre. La saison sèche s'étend de novembre à mai. Les pluies annuelles sur le bassin varient faiblement du nord au sud (Dacosta, 1989). La figure 2 montre l'évolution de la pluviométrie annuelle sur quatre stations (Vélingara, Kounkané, Bonconto et Dabo) qui environnent le bassin circonscrit dans un triangle Vélingara-Dabo-Bonconto. On constate une diminution des totaux pluviométriques depuis 1924 avec une amorce de remontée durant les années 90 et deux périodes nettement différenciées de part et d'autre de 1968 (tableau 1). Avant cette date, la pluie moyenne était de 1 160 mm. Elle est passée à 888 mm entre 1968 et 1998, ce qui représente un déficit de 273 mm.

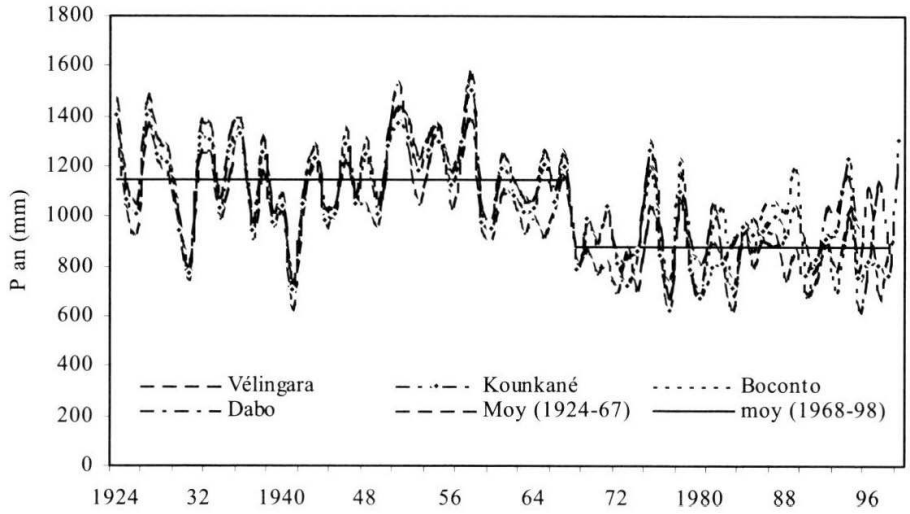


Figure 2. Évolution de la pluviométrie annuelle (en mm) des stations de Vélingara, Dabo, Kounkané et Bonconto encadrant le bassin de l'Anambé.

Tableau 1. Caractéristiques pluviométriques des stations de l'Anambé (normales pluviométriques en mm).

Stations	1931-1960	1941-1970	1951-1980	1961-1990
Vélingara	1 101	1 053	965	877
Kounkané	1 161	1 129	1 056	935
Bonconto	1 196	1 164	1 091	989
Dabo	1 198	1 166	1 099	977

8 La pluie moyenne annuelle du bassin est calculée à partir de la station de Vélingara. Les valeurs fréquentielles et leurs récurrences sèches ou humides montrent que la différence entre les valeurs fréquentielles est statistiquement significative quand on considère les sous-échantillons 1924-1967 et 1968-1998, surtout à partir de la décennale sèche pour les récurrences humides. La répartition saisonnière des pluies montre que l'essentiel des précipitations survient entre juin et fin septembre. Les hauteurs de pluies avant mai et après octobre sont négligeables (0,6 %) en comparaison des mois pluvieux.

Fonctionnement hydrologique

En régime naturel

9 L'hydrologie de la Kayanga est en apparence simple parce que résultant d'un régime pluviométrique unimodal à saison humide estivale (tableau 2). Cependant les données hydrologiques sont souvent incomplètes, les lacunes pouvant couvrir plusieurs mois, voire années : la station de Niapo (abandonnée), située sur la Kayanga à 200 m en amont du barrage Confluent et créée en 1974, a fonctionné par intermittence durant 6 ans. En fait, seule la station de Wassadou fonctionne plus ou moins correctement. Notons que le

barrage Confluent vient seulement d'être équipé d'un limnigraphe après 17 ans de fonctionnement. Enfin, depuis la saison des pluies 1998, les deux barrages (Niandouba sur la Kayanga à 10 km en amont et Confluent) sont équipés de limnigraphes avec codeurs automatiques permettant un suivi synchronisé des plans d'eau des deux ouvrages (fig. 1). Cette situation a conduit le groupe « DHV consultant » à rechercher une relation pluie-débit permettant de reconstituer les apports de la Kayanga à Niapo (Soumaré, 1999).

Tableau 2. Débits moyens mensuels de la Kayanga à Wassadou et à Niapo (m^3/s).

	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	*An*
Wassadou 1974-1998	0,23	0,495	1,23	2,16	3,66	3,78	0,829	0,387	0,323	0,286	0,292	0,249	*1,24*
Niapo 1980-1992	1,43	2,02	8,48	11,07	13,62	12,00	2,72	2,08	1,92	1,68	1,65	1,58	*5,02*

10 A partir de cette reconstitution, les apports en eau de l'Anambé sont estimés à 25 % des écoulements de la Kayanga à Niapo (tableau 3). On notera la très grande variabilité des écoulements sur la Kayanga, variabilité qui est du même ordre sur l'Anambé, c'est-à-dire de plus de 50 % sur la période humide 1932-1969 et de 68 % après 1970 (tableau 3). Cette situation explique la réduction drastique des disponibilités en eau dans la cuvette et les difficultés pour la Sodagri d'atteindre l'objectif de la double culture. Le supplément d'eau apporté par le barrage Confluent ne règle pas le problème puisque la Kayanga est, elle-même, assujettie à la même variabilité de ses écoulements. Il s'y ajoute les fuites (plus de 50 % des écoulements) résultant des erreurs dans la réalisation du barrage Confluent (digue de retenue défectueuse) qui réduisent les possibilités de stockage de l'eau.

Tableau 3. Caractéristiques des débits annuels (Q en $m^3\ s^{-1}$) de la Kayanga à Niapo et de l'Anambé à Kounkané (C. V. : coefficient de variation).

	Kayanga au pont de Niapo			Anambé au pont de Kounkané		
	Q ($m^3\ s^{-1}$)	Ec-type ($m^3\ s^{-1}$)	C. V.	Q ($m^3\ s^{-1}$)	Ec-type ($m^3\ s^{-1}$)	C. V.
max	15,408			3,852		
75 %	6,699			1,675		
médiane (50 %)	4,407			1,102		
25 %	2,328			0,582		
min	0,155			0,039		
moyenne 1932-1998	5,055	3,425	0,678	1,264	0,856	0,678
moyenne 1932-1969	6,686	3,388	0,507	1,671	0,847	0,507
moyenne 1970-1998	2,783	1,899	0,682	0,696	0,475	0,682

En régime influencé

11 Deux barrages ont été construits sur la Kayanga, à Niandouba (à l'amont) et à la confluence avec l'Anambé, et un seuil a été aménagé au niveau du pont de Kounkané (fig. 1). Le barrage Confluent fut réalisé en 1983 pour une capacité de réservoir de 34 millions de m^3 (avec un débit de dotation de 2 $m^3\ s^{-1}$). Le barrage de Niandouba a été nécessaire pour améliorer le dispositif qui n'était pas opérationnel ; il fut réalisé en 1994 pour un

réservoir de 85 millions de m^3 et un débit de dotation de 4,2 $m^3 s^{-1}$. Le seuil de Kounkané bloque l'exutoire du lac Waïma pour augmenter les possibilités de stockage en amont du pont de Kounkané lors des basses-eaux et permet ainsi une retenue de 25 millions de m^3 à l'intérieur de la plaine inondable de l'Anambé pour la réalisation de projets hydroagricoles (fig. 3). Le système Kayanga-Anambé se présente finalement comme une suite de réservoirs et d'axes hydrauliques : à l'amont, le réservoir de Niandouba avec 85 millions de m^3, l'axe hydraulique Niandouba-barrage Confluent, puis le réservoir du barrage Confluent de 34 millions de m^3 et enfin le réservoir du lac Waïma au seuil du pont de Kounkané avec 25 millions de m^3. Le fonctionnement hydrologique de ce système Anambé-Kayanga est relativement simple et purement gravitaire : le réservoir de la confluence, qui reçoit les eaux en provenance du barrage Niandouba, remplit par gravité le lac Waïma qui reçoit aussi les eaux de ruissellement des versants. En basses-eaux, une partie des eaux est piégée dans le lac Waïma par le seuil du pont de Kounkané qui empêche la sortie des eaux vers la Kayanga. Ce réservoir est alors utilisé pour les activités hydroagricoles dans la plaine de l'Anambé.

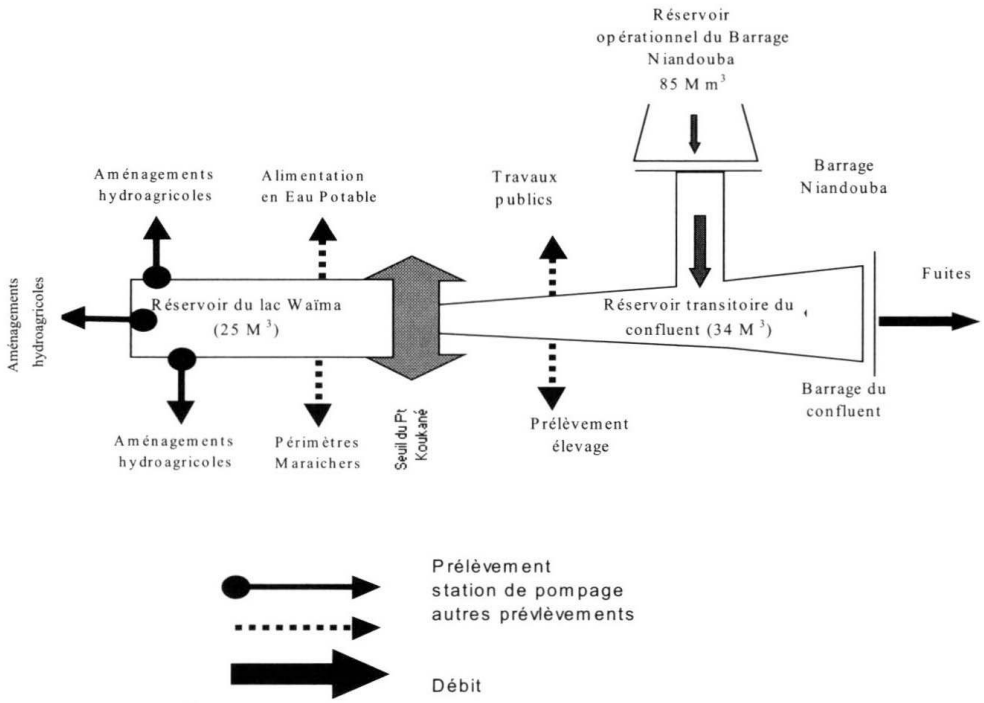


Figure 3. Schéma du dispositif général du système Kayanga-Anambé.

Mise en valeur agricole et demande en eau

Les aménagements hydroagricoles

12 La mise en valeur du bassin de l'Anambé a été faite par la Sodagri, société anonyme d'économie mixte, dont le but est la résorption du déficit céréalier au Sénégal. Créée en août 1974, son action a bénéficié de l'appui de différents bailleurs de fonds arabes et européens pour un total estimé à 227 630 millions de F CFA. La société avait pour mission d'identifier les zones à potentiel rizicole, de réaliser les études et l'exécution des projets identifiés et d'en assurer le fonctionnement dans une optique de développement intégré de la Haute Casamance. Suite aux études du « Groupement d'études et de réalisation de la

Casamance » (Gerca) en 1958, la Sodagri a réalisé ses premières études dans la décennie 1970-1980. Celles-ci précédèrent la réalisation du barrage du Confluent. La décennie 1990 connut la phase de révision de certaines études et se caractérise par la réalisation en 1993 du plan directeur PDBA définissant le programme d'action ci-après :

- actions sectorielles (plan d'aménagement hydraulique, mise en valeur hydroagricole, agriculture pluviale, développement de l'élevage, développement forestier, développement piscicole...) ;
- infrastructures rurales (alimentation en eau et désenclavement routier) ;
- actions connexes (programmes de santé, d'éducation, de protection de l'environnement) ;
- actions d'accompagnement (formation, gestion des infrastructures, crédit agricole, attribution des terres).

13 L'aménagement hydroagricole du bassin de l'Anambé est basé sur le principe de la mobilisation des ressources en eau du système Anambé-Kayanga et sur leur utilisation pour l'irrigation des terres aptes à la riziculture dans la partie centrale du bassin. Le projet initial de 1980 prévoyait près de 16 000 ha mais c'est finalement les terres situées entre les cotes +22 et +27 m IGN qui ont été retenues pour une superficie estimée à environ 5 000 ha, réparties sur 5 secteurs pour des commodités d'irrigation. Chaque secteur est connecté à une station de pompage, sauf les secteurs 1 et 2 qui ont la même station. Leur seuil de pompage est de 18,5 m. Un système de motopompes est également disponible pour la contre-saison. Les superficies occupent 2 630 ha en rive droite et 1 200 ha en rive gauche. Ces périmètres sont de forme géométrique variable d'une superficie allant de 0,80 à 1,35 ha.

Cadre des activités et système d'utilisation de l'eau

Cadre des activités traditionnelles

14 Les activités traditionnelles concernent surtout les cultures traditionnelles et l'élevage.

15 Les cultures traditionnelles sont principalement des cultures céréalières. Cette agriculture se faisait sur les plateaux et les bas-fonds. Le plateau était le domaine des hommes où ils cultivaient le maïs, le mil et le sorgho alors que le bas-fond était l'apanage des femmes qui y pratiquaient la riziculture. L'agriculture traditionnelle était confrontée à des difficultés liées à l'obsolescence de l'outil, au manque d'intrants agricoles et dans une moindre mesure, au déficit pluviométrique (Diouf, 1999). C'est pourquoi la Sodagri prévoyait d'intensifier les cultures sous pluies sur 50 % des surfaces, soit 10 000 ha.

16 L'élevage peul dans le bassin de l'Anambé est semi-sédentarisé. Le bétail estimé à 39 780 têtes en 1990 comprend surtout des bovins (qui représentent 40 % du cheptel total) et quelques équins et asins, des ovins et des caprins. Cette activité connaît beaucoup de contraintes, notamment d'abreuvement. Ces difficultés entraînent actuellement un mouvement des troupeaux vers les aménagements hydroagricoles. La Sodagri a initié un programme d'élevage pour 10 000 bovins et 20 000 ruminants afin de compenser les 5 % de parcours perdus par la réalisation des aménagements hydroagricoles.

Système d'utilisation de la ressource en eau pour les activités « modernes »

17 Les activités dites « modernes » sont dominées par la riziculture qui a concerné près de 6 000 ha entre 1988 et 1992, les prévisions ayant été ramenées de 16 000 à 5 000 hectares. Sur ce total, près de 1 365 ha ont été aménagés. Ces activités se déroulent selon un

calendrier cultural très simple : une mise en valeur en hivernage (juin à octobre) et une autre en contre-saison (décembre à avril).

18 De 1988 à 1992, la mise en valeur du bassin de l'Anambé présente des différences énormes entre les superficies prévues, celles aménagées et celles récoltées (tableau 4 et fig. 4). De façon évidente, les prévisions ont été trop ambitieuses, et le processus des réalisations toujours en retard justifie des superficies récoltées qui sont paradoxalement plus importantes en périmètres non-aménagés que celles sur périmètres aménagés, du fait de la lenteur des réalisations et des stratégies paysannes d'occupation de l'espace pour contourner les dispositions de la loi sur le domaine national. Ce qui fait que les populations occupent les périmètres non-aménagés qui sur la période de référence représentent près de 75 à 90 % des surfaces emblavées.

19 Tout se passe comme-ci les populations anticipaient l'aménagement. L'ampleur de leur action fausse la stratégie de mise en valeur de l'Anambé et installe le système dans une situation d'ambiguïté et d'anarchie totale préjudiciable à une gestion des eaux efficace. Ainsi on note par exemple la quasi inexistence d'une contre-saison qui dans la période de référence ne représentent que 5 à 25 % de la mise en valeur, cette proportion s'effritant au fil des années (tableau 4).

Tableau 4. Superficies rizicoles prévues, aménagées (Sup. amena.) et réellement récoltées en hectares, dans la plaine inondable du bassin de l'Anambé (de 1988 à 1992, par cycle hydrologique). Hivernage : saison des pluies ; C-S : culture de contre-saison.

	Sup.	Sup.	*Superficies récoltées (en ha)*						
	prévues	aména.	*Total*	*Périmètres aménagés*			*Périmètres non-aménagés*		
Années	(ha)	(ha)	(ha)	Hivernage	C-S	Total	Hivernage	C-S	Total
1988/89	28 226	3 233	*5 826*	639	137	776	5 050	0	5 050
1989/90	36 442	4 175	*6 200*	850	300	1 150	5 050	0	5 050
1990/91	41 306	2 553	*9 972*	976	40	1 016	8 956	0	8 956
1991/92	47 180	1 303	*6 674*	644	30	674	6 000	0	6 000
1992/93	53 200	780	*4 223*	223	0	223	4 000	0	4 000
Moyenne	*41 271*	*2 409*	*6 579*	*667*	*101*	*768*	*5 811*	*0*	*5 811*

Source : Plan directeur Anambé, Sodagri DEES (1997) cité par Diouf (1999).

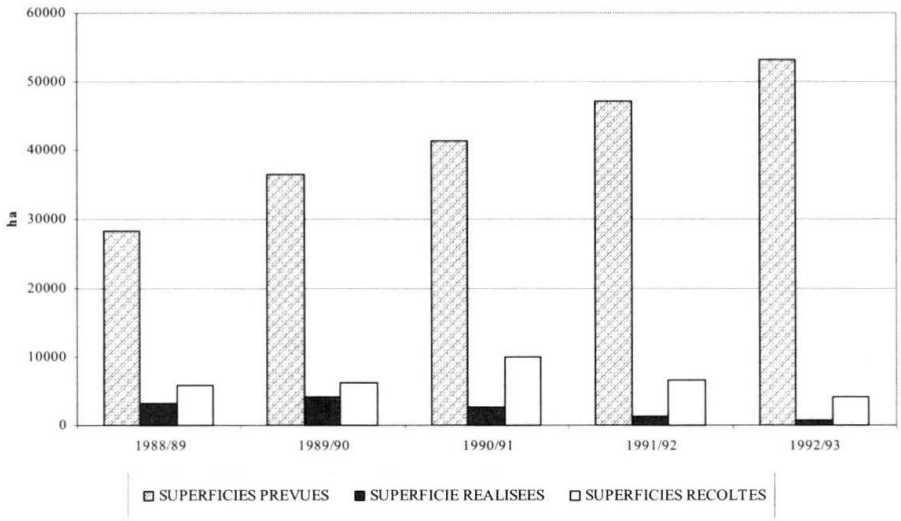


Figure 4. Évolution comparée des superficies prévues, réalisées et récoltées.

Évolution saisonnière de la demande en eau

20 L'évolution saisonnière de la demande en eau est fonction des spéculations agricoles, et donc des besoins en eau des superficies emblavées. En tenant compte des possibilités d'aménagement et d'une intensité culturale de 1,6, une étude de la répartition saisonnière des volumes d'eau utilisables par l'irrigation est possible. Ce volume qui exprime le besoin permet la gestion de la ressource. En fonction du niveau d'aménagement et des perspectives de mise en valeur agricole, deux scénarios semblent intéressants pour l'analyse de la variabilité inter-saisonnière de la demande :

- scénario n° 1 : 5 000 ha en hivernage et 3 000 ha en contre-saison (maximum prévu par la Sodagri) ;
- scénario n° 2 : 2 500 ha et 1 500 ha (situation moyenne la plus vraisemblable).

21 La demande totale annuelle en eau pour le scénario n° 1 est de l'ordre de 107 millions de m^3 alors qu'elle est de seulement 53 millions de m^3 pour le scénario n° 2 (tableau 5). Au cours de l'année, cette demande évolue progressivement avec deux maximums dans l'année : pendant la première contre-saison, elle atteint son maximum au mois de mars alors qu'en hivernage la demande est maximale en juillet. Cela s'explique, certes, par les conditions agrométéorologiques mais surtout par le fait qu'il y a un grand nombre d'agriculteurs qui aménagent simultanément, d'où une forte extension des superficies emblavées. Il est important de noter que quel que soit le scénario, les besoins en eau lors de la première contre-saison atteignent les mêmes valeurs qu'en hivernage malgré des superficies relativement moins étendues. Enfin, en contre-saison de fin d'année, les besoins en eau sont faibles et restent largement inférieurs à ceux des mois précédents.

Tableau 5 Évolution mensuelle du volume d'eau du lac Waïma (dans des conditions moyennes de pluviométrie) et de la demande en eau (en 10^3 m^3) en fonction de deux scénarios de mise en culture : le scénario 1 prévoit 5 000 ha en hivernage et 3 000 ha en contre-saison (et correspond à la prévision Sodagri), le scénario 2 prévoit 2 500 ha en hivernage et 1 500 ha en contre-saison (et correspond à la situation vraisemblable).

		Volume lac Waïma	Demande en eau	
			scénario 1	scénario 2
contre-	Janv.	11 903	9 439	4 720
saison 1	Fév.	10 055	11 239	5 620
	Mars	9 593	15 308	7 654
	Avril	6 502	13 448	6 507
saison	Mai	7 560	-	-
des	Juin	8 900	4 620	2 310
pluies	Juil.	14 220	14 539	7 269
	Août	23 720	12 880	6 440
	Sept.	36 040	11 310	5 655
	Oct.	40 200	11 206	5 603
contre-	Nov.	45 000	-	-
saison 2	Déc.	30 920	2 864	1 432
Année		*244 613*	*106 853*	*53 210*

Adéquation offre / demande

22 La relation offre / demande en eau doit être analysée non seulement en fonction des scénarios d'exploitation (comme envisagée ci-dessus) mais aussi en fonction des conditions hydroclimatiques. La figure 5 illustre la relation offre / demande dans le cas d'une situation pluviométrique moyenne. En saison des pluies, la demande est satisfaite quel que soit le scénario adopté et la situation hydroclimatique envisagée : le réservoir du lac Waïma et son maintien en potentiel dû à la crue de la Kayanga permet de sécuriser les cultures dans la cuvette. La demande en eau pour les 5 000 ha prévisionnels (hypothèse haute du scénario 1) peut être satisfaite et la mise en culture des parcelles non-aménagées (et donc non prévues) ne remet pas en cause le système, sauf peut-être pour le mois de juillet où le scénario 1 est alors en limite supérieure acceptable. Par contre, la satisfaction des besoins en eau en saison sèche va dépendre du scénario envisagé car la mise en culture des 3 000 ha ne peut être satisfaite en mars et avril pour une situtation hydroclimatique moyenne. Ainsi en cas de situation pluviométrique déficitaire, les cultures de contre-saison devront absolument être réduites, voire annulées, et les cultures d'hivernage devront être sécurisées à la période de jonction (mois de juillet) entre la saison sèche et la saison des pluies.

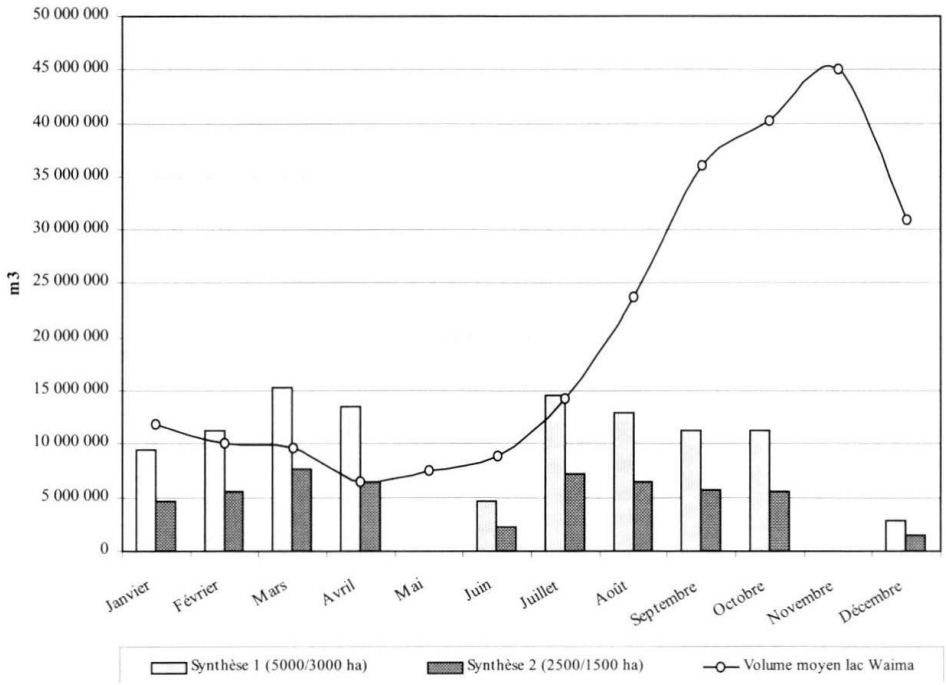


Figure 5. Relation offre / demande en eau dans le bassin de l'Anambé en situation pluviométrique moyenne.

23 L'analyse de l'adéquation offre / demande en eau dans la plaine inondable de l'Anambé met en exergue deux constats majeurs. D'une part, l'état d'avancement des travaux (et donc le niveau d'aménagement) n'est pas conforme aux prévisions, ce qui explique que les populations mettent en valeur des parcelles non aménagées et donc sans contrôle. D'autre part, les pratiques paysannes sont catastrophiques en matière de maîtrise des techniques d'irrigation, en raison d'un manque de formation indéniable lié au désengagement de la Sodagri malgré le retard des aménagements, d'où d'énormes problèmes pour l'entretien des canaux tertiaires, des systèmes de pompages, des ouvrages de régulation, des digues et des parcelles, etc. Les conséquences sont une mauvaise alimentation des casiers, notamment ceux situés en aval des stations de pompage, et une inondation de ceux situés près des plans d'eau.

Conclusion

24 Notre analyse montre que malgré la reprise de la pluviométrie observée depuis 1992, les effets cumulés de la sécheresse récente se font toujours sentir en 1999 sur la disponibilité des réserves d'eau des différents barrages qui n'arrivent pas à se remplir. Aujourd'hui, le barrage de Niandouba est rempli et devrait pouvoir jouer son rôle. Dans les conditions normales de pluviométrie, les ressources en eau mobilisables dans le complexe Kayanga-Anambé devraient suffire pour assurer une double culture de riz sur 2 500 et 1 500 ha, respectivement en saison des pluies et en contre-saison. Les objectifs initiaux de la Sodagri ne sont pas réalisables aujourd'hui du fait de l'inadéquation entre offre et demande en eau à cause de l'anticipation des paysans dans la mise en valeur des terres par rapport au rythme des aménagements, provoquant une utilisation non contrôlée de la ressource en eau, à cause d'une gestion des barrages inadaptée et peu opérationnelle (particulièrement pour le barrage Confluent au niveau duquel les fuites équivalent à plus

de 60 %), et à cause des gaspillages d'eau liés au non respect des règles d'irrigation (dû à un manque de formation des paysans) et au manque d'entretien des canaux.

25 Le désengagement actuel de la Sodagri, dont les actions se limiteront dorénavant à l'aménagement des terres et à la gestion du réseau d'irrigation primaire (le reste étant transféré aux groupements de paysans) n'est pas pour améliorer la gestion de la ressource dans le bassin de l'Anambé. La gestion actuelle et les comportements des différents acteurs est source d'inquiétudes quant à la dynamique environnementale dans cet agrosystème où n'existe aucun programme de suivi des paramètres environnementaux en fonction du degré d'aménagement et de la mise en valeur agricole.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Améadan J., 1995 – *Aspects agroclimatologiques de la culture pluviale dans le bassin d'Anambé.* Mém. DEA, Géographie, univ. Dakar, 80 p.

Dacosta H., 1989 – *Précipitations et écoulements sur le bassin de la Casamance.* Thèse de 3e cycle, Géographie, univ. Dakar, 274 p.

Dacosta H., Gomez R., 1998 – *Inventaire des zones humides des bassins de la Casamance et de la Kayanga.* Rap. RNZHS, UICN, Dakar, 33 p.

Diouf A., 1999 – *Contribution au diagnostic et à l'analyse des facteurs et contraintes de développement de la riziculture irriguée dans le bassin de l'Anambé : exemple de la communauté rurale de Mampatim.* TER section Géographie, UFRL/SH, UGB, Saint-Louis (Sénégal), 119 p.

Le Priol, 1983 – Études hydrogéologiques du bassin de la Casamance. DGRH, Ministère de l'Hydraulique, Dakar, 2 vol.

Michel P., 1973 – *Les bassins du Sénégal et de la Gambie : étude géomorphologique.* Thèse Lettres, Géographie, univ. Strasbourg, Mém. Orstom, Paris, 63, 3 tomes, 753 p.

Soumaré P. O., 1999 – *Eau et environnement dans le bassin de l'Anambé. Analyse des impacts d'utilisation de l'eau et contribution à la gestion durable des ressources en eau.* Mém. maîtrise Géographie, UGB, Saint-Louis (Sénégal), 186 p.

AUTEURS

HONORÉ DACOSTA

Hydrologue. Ucad, Département de Géographie, Dakar, Sénégal,

ADRIEN COLY

Hydrologue. GIRH, Tropis-environnement, Saint-Louis, Sénégal,

PAPE OUSMANE SOUMARÉ

Géographe. Ucad, dép. Géographie, Dakar, Sénégal,

Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger

Impact de la gestion des aménagements hydrauliques

Marcel Kuper, Adama Hassane, Didier Orange, Anne Chohin-Kuper et Mariama Sow

1 Le fleuve Niger à Koulikoro (70 km à l'aval de Bamako, Mali) apporte chaque année un important volume d'eau mal réparti dans l'année, de 28,2 milliards de m^3 par an en moyenne pour la chronique 1982-1998. Avant 1980, les débits de crue (d'août à octobre) atteignaient 5 000 m^3 s^{-1} pour des étiages en-dessous de 40 m^3 s^{-1} (de mars à mai). En 1982, l'installation du barrage de Sélingué (à 70 km en amont de Bamako) sur le Sankarani, affluent du Niger, modifie le régime du fleuve. Avec une capacité de stockage de 2,17 milliards de m^3, le barrage soutient les étiages au-dessus de 100 m^3 s^{-1} à Koulikoro. La mise en service du barrage de Sélingué sur le Sankarani en 1982, coïncidant avec les sécheresses sahéliennes des années 1980 (*e.g.* Bricquet *et al.*, 1996 ; Mahé *et al.*, 1997) a entraîné une certaine confusion dans la perception par les populations riveraines entre l'influence climatique et l'influence des aménagements sur l'apport en eau du fleuve Niger à l'entrée du delta intérieur. Les principales revendications des exploitants du delta concernent : d'une part, la diminution de la disponibilité en eau pendant la crue entraînant une baisse de la production de poissons, de pâturage et de la surface cultivable, et d'autre part des fluctuations intempestives du fleuve en étiage entraînant des perturbations dans les captures de pêche.

2 Le but de cet article est d'analyser l'influence des aménagements, notamment du barrage de Sélingué, sur l'approvisionnement en eau de l'Office du Niger et du delta intérieur du Niger en faisant la part entre les causes naturelles et les effets liées à la gestion des aménagements hydrauliques. L'impact de la gestion du barrage de Sélingué sur les écoulements et les inondations dans le delta est déterminé en reconstituant les débits naturels avant l'installation du barrage. La comparaison de la situation sans et avec le barrage de Sélingué permet d'explorer son impact sur les systèmes traditionnels de production du delta (pêche, agriculture, élevage).

Régulation du fleuve Niger

3 Le bassin versant du fleuve Niger à la station hydrométrique de Nantaka (à la sortie de Mopti, juste après la confluence avec le Bani et donc quelques kilomètres après son entrée dans le delta intérieur) couvre 281 600 km^2, dont presque la moitié est drainée par le Bani. Les aménagements du fleuve Niger au Mali concernent le barrage à but multiple de Sélingué sur le Sankarani, le barrage au fil de l'eau des Aigrettes à Sotuba (sortie de Bamako) et le barrage de dérivation de Markala qui alimente les périmètres irrigués de l'Office du Niger (Brunet-Moret *et al.*, 1986). Il existe de nombreux projets pour aménager davantage le fleuve Niger. On peut citer le barrage de Fomi en Guinée sur le Niandan avec une capacité du réservoir de 6 milliards de m^3 et le barrage de Tossaye sur le Niger à l'aval du delta avec également une capacité du réservoir de 6 milliards de m^3. Le barrage de Sélingué au Mali est actuellement le seul ouvrage capable de participer à la régulation des eaux, en soutenant les étiages à Koulikoro au-dessus de 100 $m^3\ s^{-1}$ (Hassane *et al.*, 2000). La période d'étiage coïncidant avec les fortes chaleurs et le démarrage de la campagne agricole à l'Office du Niger, les débits turbines sont nécessaires à la fois pour la production d'énergie, l'agriculture, l'alimentation en eau des populations et la navigation. Cependant le plus grand consommateur de l'eau turbinée à Sélingué est de loin le périmètre irrigué de l'Office du Niger. Sa dépendance par rapport à la gestion du barrage s'est d'ailleurs révélée très préoccupante lors de l'étiage 1999, situation que nous analysons ci-après.

4 Le barrage de Sélingué a un volume stocké maximum de 2,17 milliards de m^3 pour un apport moyen annuel du Sankarani de 7,0 km^3 en moyenne sur la période 1982-1998, soit 30 % de l'apport. Pour la même période, le fleuve Niger observé à Banankoro apporte annuellement 20 km^3 par an. L'apport moyen à Koulikoro étant estimé à 28,6 $km^3\ an^{-1}$, le volume stocké à Sélingué représente seulement 7,6 % des écoulements moyens annuels du fleuve Niger à cette station de référence. La figure 1 illustre l'importance saisonnière des débits sortants du Sankarani à Sélingué : ces débits représentent plus de 50 % des débits du Niger à Koulikoro en saison sèche (de février à juin) et approchent même les 100 % pendant la période la plus sèche de mars à mai.

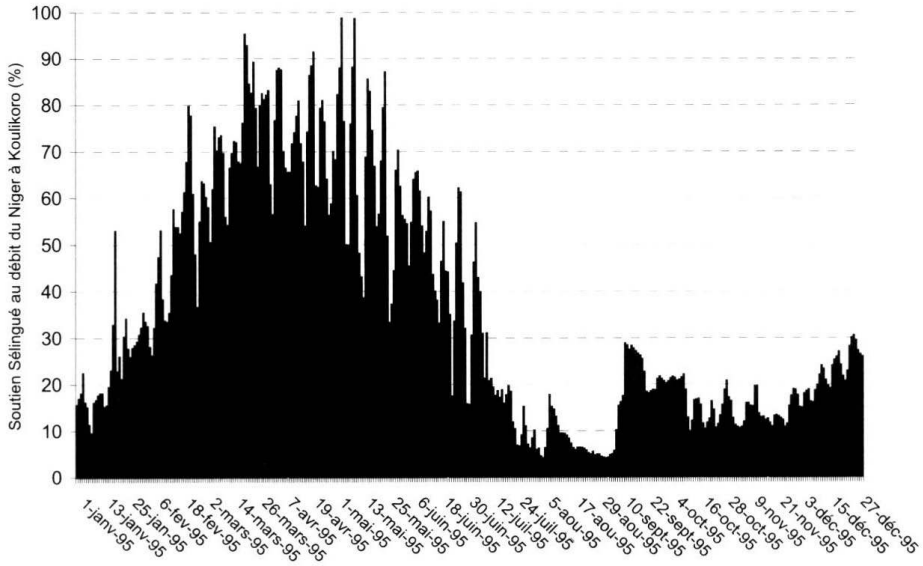


Figure 1. Contribution du barrage de Sélingué (sur le Sankarani) au débit du fleuve Niger à Koulikoro en 1995 (en pourcentage) (d'après Hydroconsult, 1996 ; Hassane *et al.*, 2000). L'hydrogramme de crue correspondant est représenté en figure 2.

Pour déterminer l'impact du barrage de Sélingué, nous avons reconstitué le régime naturel du fleuve Niger à Koulikoro sans le barrage. Pour cela, nous avons adopté la relation établie par Soumaguel (1995), qui a effectué une régression multiple entre les débits à Banankoro, Koulikoro et le débit naturel du Sankarani à Sélingué. Pour déterminer l'apport naturel du Sankarani à Sélingué, nous avons utilisé l'équation du bilan hydrique en vigueur à Sélingué (Hydroconsult, 1996). Ensuite, la reconstitution de l'hydrogramme naturel de Ké-Macina à partir du débit observé à Koulikoro a été réalisée à partir de la chaîne de traitement de Bader (1992), méthode décrite dans Hassane *et al.* (2000). La comparaison de l'hydrogramme ainsi reconstitué (correspondant à un fonctionnement sans barrage) avec l'hydrogramme observé (correspondant à un fonctionnement avec barrage) – pour le cycle hydrologique 1995 (fig. 2) – indique une action réduite du barrage de Sélingué sur la crue (si ce n'est un léger retard dans l'onde de crue) et un étiage fortement soutenu par le réservoir de Sélingué (*cf.* fig. 1). Le débit moyen annuel naturel du fleuve Niger a diminué de seulement 4,5 % depuis l'installation du barrage de Sélingué (Soumaguel, 1995).

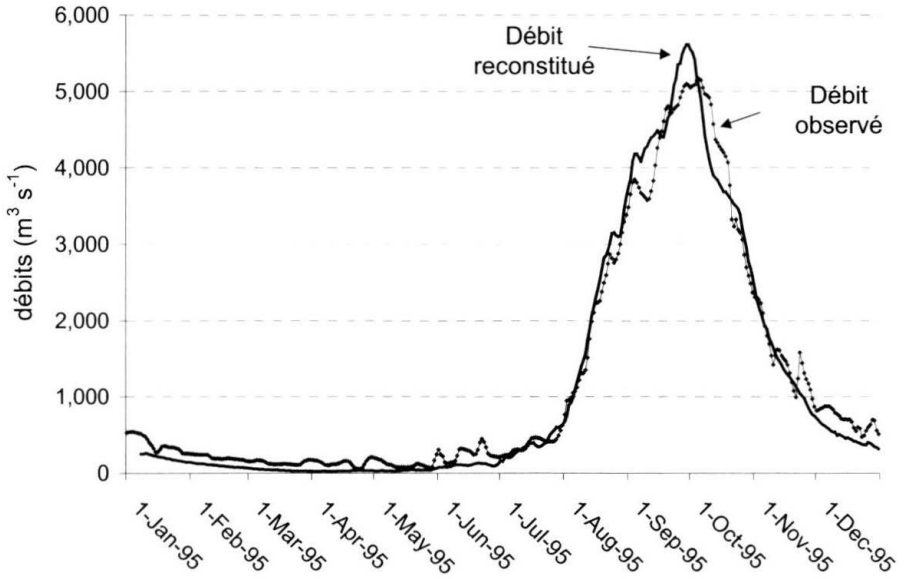


Figure 2. Débits observés (avec le barrage de Sélingué en fonction) et reconstitués (sans le barrage) en 1995 à Ké-Macina (en $m^3 s^{-1}$) à partir des modèles développés par Soumaguel (1995) puis Hassane *et al.* (2000).

6 Durant la période d'étiage, des perturbations liées au fonctionnement du barrage sont perceptibles et largement critiquées par les populations du delta intérieur. Les nombreuses oscillations du niveau d'eau enregistrées correspondent effectivement aux lâchés d'eau et variations des débits turbinés (fig. 3). Les oscillations de la hauteur d'eau, ici à l'échelle de Mopti-Nantaka pour l'année 1999, sont en effet importantes. Ces oscillations ont un impact uniquement sur les grands axes fluviaux (Niger, Issa Ber), car les plaines et les cours d'eau secondaires ne sont pas en eau pendant cette période. Un

deuxième phénomène perceptible est un léger retard accusé dans le début de la montée des eaux en 1999, lié au remplissage du réservoir de Sélingué.

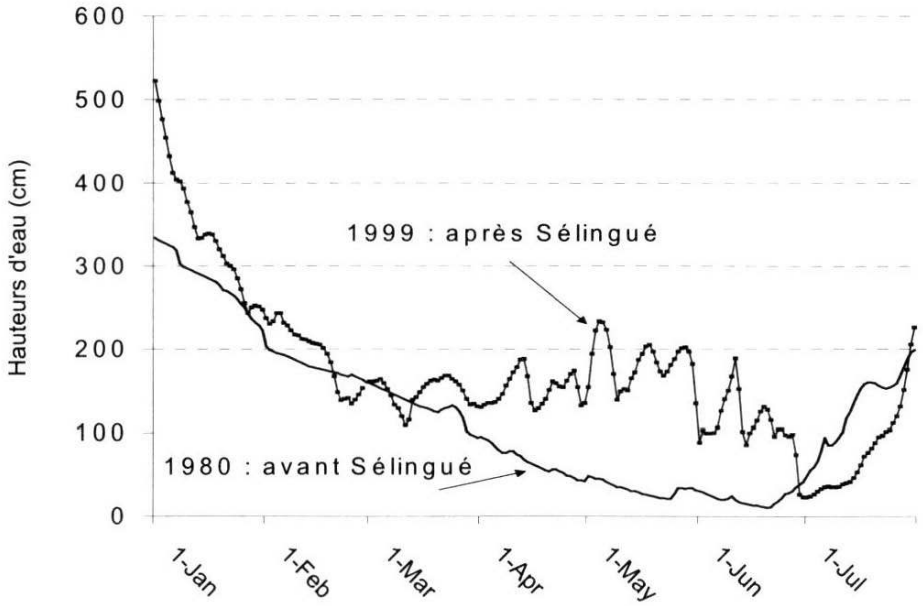


Figure 3. Oscillations de la hauteur d'eau à l'échelle de Mopti-Nantaka après l'installation du barrage de Sélingué.

7 L'influence du barrage de Sélingué se résume donc par :

- un *soutien considérable des débits pendant les étiages* dont l'importance dépend de la gestion du réservoir du barrage au cours de l'année ; durant l'étiage, la contribution des débits sortants du barrage de Sélingué approche les 100 % du débit du fleuve Niger à Koulikoro mais la gestion du barrage entraîne des oscillations journalières des plans d'eau dans les cours d'eau permanents jusque dans le delta intérieur du Niger ;
- un *faible impact sur la hauteur des crues,* le barrage ne pouvant retenir que 7,6 % de l'apport annuel du Niger à Koulikoro.

Utilisation et partage des eaux du fleuve Niger

8 Au Mali, l'agriculture prélève la quantité la plus importante de l'eau du fleuve Niger[1]. Elle concerne notamment les périmètres irrigués de Sélingué (1 500 ha), de Baguinéda (3 000 ha), de l'Office du Niger (56 675 ha) et les petits périmètres irrigués villageois dans le delta intérieur du Niger (PPIV sur environ 1 500 ha), ainsi que tout le système d'exploitation du riz traditionnel du delta intérieur utilisant les eaux d'inondation de la crue du fleuve (fig. 4).

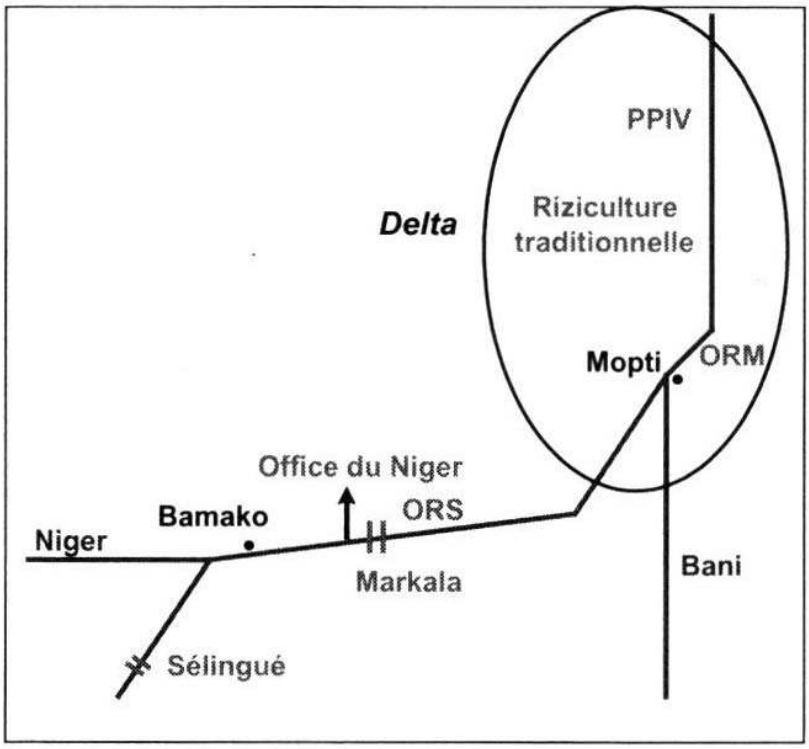


Figure 4. Localisation des usages agricoles dans le bassin du fleuve Niger au Mali.

9 Traditionnellement, les riverains du fleuve Niger cultivent du riz à submersion libre, et le delta intérieur du Niger est particulièrement propice pour cette culture. Dans les régions de Mopti et Tombouctou, la superficie cultivée annuelle fluctue autour de 115 000 ha (DRAMR, 1998 et 1999 ; Kuper et Maïga, 2000). A cette superficie, il faut ajouter 30 000 ha de casiers de riz à submersion contrôlée aménagés par l'Office Riz Ségou (ORS) et l'Office Riz Mopti (ORM). La culture de riz traditionnel dépend directement de la surface inondée, donc de l'importance de la crue.

10 Les prélèvements d'eau mensuels de l'agriculture irriguée et de l'agriculture traditionnelle[2] et l'apport du fleuve à Koulikoro sont détaillés dans le tableau 1. Nous n'avons pas inclus les besoins en eau potable des riverains du fleuve, car il s'agit de quantités négligeables par rapport aux besoins de l'agriculture. Bamako, de loin le plus gros consommateur en eau potable, prélève environ 3 millions de m^3 par mois (Palangié, 1999).

Tableau 1. Les apports en eau du fleuve Niger à Koulikoro et les prélèvements d'eau pour la riziculture sur les périmètres aménagés irrigués (Sélingué, Baguinéda, Office du Niger) et à submersion contrôlée (ORM, ORS) et dans le delta intérieur du Niger (à riziculture traditionnelle), pour la période 1989-1997 (volumes d'eau en millions de m).

Type de prélèvements	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	*Total annuel*
Apports (10^6 m^3)	568	380	339	368	444	745	1 759	4 455	8 571	7 794	3 483	1 311	*30 218*
Agriculture irriguée													
Sélingué	2,2	3,9	5,0	5,1	2,8	0,5	0,7	1,7	2,9	4,4	2,8	1,5	*33,6*
Baguinéda	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	*215*
Office du Niger	151	151	167	166	200	218	219	235	321	321	254	160	*2 562*
Riz. sub. contrôlée (ORM, ORS)	0	0	0	0	0	0	0	230	33	56	53	26	*398*
Riziculture traditionnelle	0	0	0	0	0	0	0	979	140	237	225	97	*1 678*
Evaporation Sélingué	65	66	77	54	39	25	13	16	37	53	62	62	*569*
Total mensuel	236	239	267	243	260	262	251	1 480	552	689	615	365	*5 458*
Pertes en % de l'apport	42	63	79	66	59	35	14	33	6	9	18	28	*18*

Source : Hydroconsult, 1996 (prélèvements Sélingué, évaporation) ; SERP, Office du Niger (prélèvements Markala)

11 Les prélèvements de l'agriculture irriguée à l'amont du delta s'élèvent à 2 811 millions de m^3 (tableau 1), représentant 10 % de l'apport du fleuve. Les prélèvements des périmètres irrigués sont importants pendant l'étiage (de janvier à juin) par rapport à l'apport du fleuve Niger à Koulikoro : les différents aménagements retirent entre 35 et 79 % de l'apport (tableau 1). La consommation d'eau est relativement plus faible en période de crue (de juillet à décembre), pendant laquelle seulement entre 6 et 33 % de l'apport est prélevé. La consommation d'eau de l'agriculture irriguée est plus forte que celle de l'agriculture traditionnelle (riz à submersion libre, riz de décrue). On note l'importance des prélèvements de l'Office du Niger à Markala, constituant presque 50 % du volume total annuel retiré. *In fine,* les pertes en eau par évaporation de la surface libre du plan d'eau de Sélingué atteignent 569 millions de m^3 par an – moyenne de 1982-1998 évaluée à partir de l'abaque de Lotti et Sofrelec (1975) –, soit le quart du volume total du réservoir. En terme mensuel (fig. 5), les prélèvements des périmètres irrigués s'étalent sur toute l'année. A l'Office du Niger, les besoins en eau augmentent légèrement à partir de mai-juin pour être maximum en septembre-octobre. La demande la plus forte est celle de la riziculture traditionnelle en août. Aussi la quantité d'eau disponible à cette date déterminera la superficie des surfaces emblavées. Bien sûr, toutes ces demandes interviennent au moment de la crue du Niger où les prélèvements de juin à décembre fluctuent de 10 à 30 % seulement de l'apport du fleuve Niger à Koulikoro (tableau 1). Pendant la période d'étiage, de janvier à mai, le prélèvement en volume d'eau est plus faible mais représente entre 35 et 80 % de l'apport disponible dans le fleuve, avec un pic en mars. Cet apport en eau doit être nécessairement assuré par le barrage de Sélingué.

12 L'Office du Niger a des ambitieux projets d'extension et envisage l'aménagement d'un million d'hectares de casiers (Sogréah *et al.*, 1999). Nous avons vu qu'avec le dispositif actuel (56 000 ha cultivés), l'Office du Niger prend jusqu'à 50 % du débit du fleuve pendant l'étiage. Il est donc difficile d'imaginer l'extension sans problème majeur de disponibilité

en eau pour les différents usagers. Cependant la gestion de l'eau actuelle est loin d'être satisfaisante et l'extension devra passer par une amélioration de cette gestion. En effet, la consommation à l'entrée des périmètres irrigués de l'Office du Niger (sur le système du Sahel, « point A ») est de 28 200 m^3 ha^{-1} pour la principale saison de culture (entre avril et novembre). Or il s'avère que la consommation actuelle d'eau aux niveaux des partiteurs et des arroseurs (sur les réseaux secondaire et tertiaire) est de 12 060 m^3 ha^{-1} pour 15 000 m^3 ha^{-1} escomptées (Ouvry et Marlet, 1999). Cela représente une efficacité pendant la saison hivernale de 12 060 / 28 200 = 0,43. En d'autres termes, seulement 43 % de l'eau qui rentre dans le canal du Sahel arrive dans les arroseurs aménagés... Bien sûr, il faut nuancer cette analyse ; une partie de l'eau « perdue » est destinée aux hors casiers pour la production notamment de riz et de produits maraîchers[3]. De plus, les données d'Ouvry et Marlet (1999) concernent des arroseurs dans des casiers réaménagés. Dans des casiers non-réaménagés, la consommation est probablement plus importante, diminuant le pourcentage de pertes dans les réseaux primaire et secondaire.

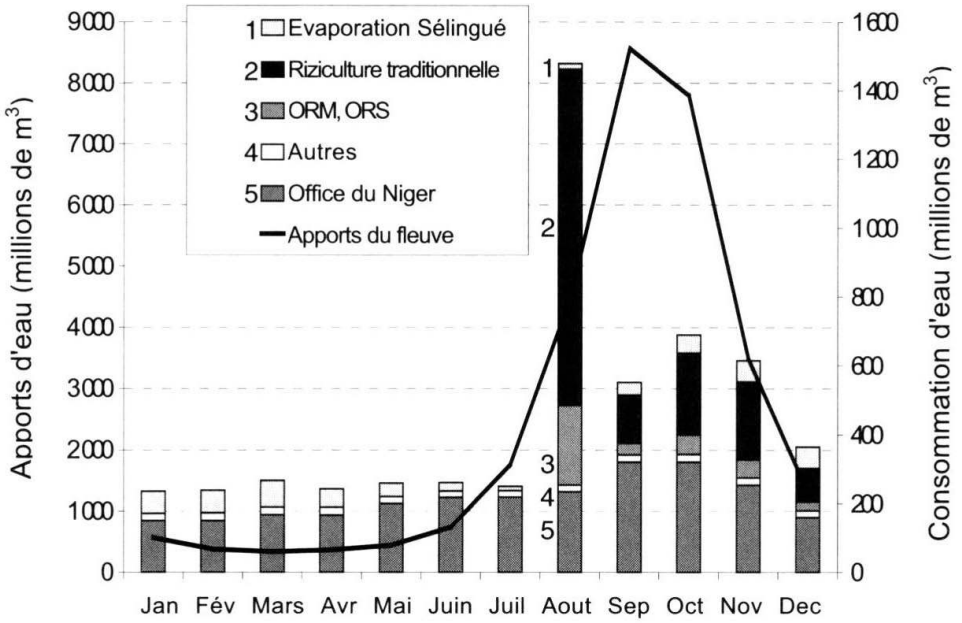


Figure 5. Hydrogramme des apports du fleuve Niger à Koulikoro et histogramme des usages de l'eau en moyenne mensuelle pour la période 1989-1997 (volumes d'eau mensuels en million m^3) (source : Office du Niger, IRD/DNH).

13 Par ailleurs, les eaux du Niger ont de nombreux autres usagers. La figure 5 met en évidence le besoin primordial en eau au mois d'août pour la culture de riz à submersion libre dans le delta. Mais d'autres systèmes de production dépendent de l'importance de la crue : la pêche et l'élevage. Laë (1994) montre qu'il existe une forte relation entre la superficie inondée et les captures de poissons (Laë et Mahé, ce volume)[4]. La production de poissons varie du simple au double d'une année à l'autre. La capacité du delta à accueillir des troupeaux de bovins, ovins et caprins dépend aussi de l'étendue et du type de végétation. Les bourgoutières (*Echinochloa stagnina* et *Vossia cuspidata*) ont une capacité de charge potentielle jusqu'à quatre fois supérieure à d'autres types de végétation (oryzaie, vétiveraie). Une mauvaise crue, induisant une diminution de la superficie de bourgoutières, entraîne donc une réduction de la capacité d'accueil du delta pour les troupeaux. Cissé et Gosseye (1990) estiment la superficie des bourgoutières du delta à 6 700 km^2 et le total des pâturages inondables, constitués d'espèces aquatiques, à 14 165

km² (Marie, ce volume)[5]. Enfin, la navigation est un autre utilisateur de l'eau du fleuve Niger avec les quatre bateaux de la Compagnie malienne de navigation (Comanav) et les pinasses de transport. Rey *et al.* (1994) ont compté à Mopti un total de 75 pinasses de transport avec une charge utile entre 15 et 120 tonnes.

14 Pour conclure, retenons que si l'agriculture irriguée ne prélève que 10 % des apports annuels en eau du Niger, elle est très largement la plus grosse consommatrice d'eau durant l'étiage (jusqu'à 80 % de l'apport à Koulikoro). L'agriculture irriguée dépend donc de la gestion du barrage de Sélingué en période d'étiage. L'extension des périmètres irrigués, actuellement en projet pour l'Office du Niger, est donc contrainte par un débit limité du fleuve Niger pendant l'étiage. D'autre part, la crue du fleuve Niger permet aux habitants du delta intérieur d'exercer leurs métiers traditionnels (pêche, élevage, agriculture) et de conserver sa flore et sa faune uniques. Les systèmes de production du delta dépendent de la surface inondée et donc de l'importance de la crue.

Impacts de la gestion des aménagements sur les systèmes de production

Une pénurie d'eau à l'Office du Niger : le cas de l'étiage 1999

15 La saison hivernale 1998 s'était achevée dans des conditions hydrologiques plutôt favorables : la crue avait atteint un maximum de 5 090 $m^3 s^{-1}$ début octobre à Koulikoro (contre un maximum moyen de 3 950 $m^3 s^{-1}$ sur la période 1980-1998). Le processus de décrue s'est amorcé normalement, le débit à Koulikoro étant toujours de l'ordre de 300 $m^3 s^{-1}$ fin décembre et la courbe de décrue de 1999 est légèrement supérieure à celles des années précédentes (fig. 6). Cependant à partir de la mi-avril, on enregistre une augmentation anormale des débits suivie d'une diminution brutale, entraînant un assèchement du lit dans certains endroits (Hassane *et al.*, 2000).

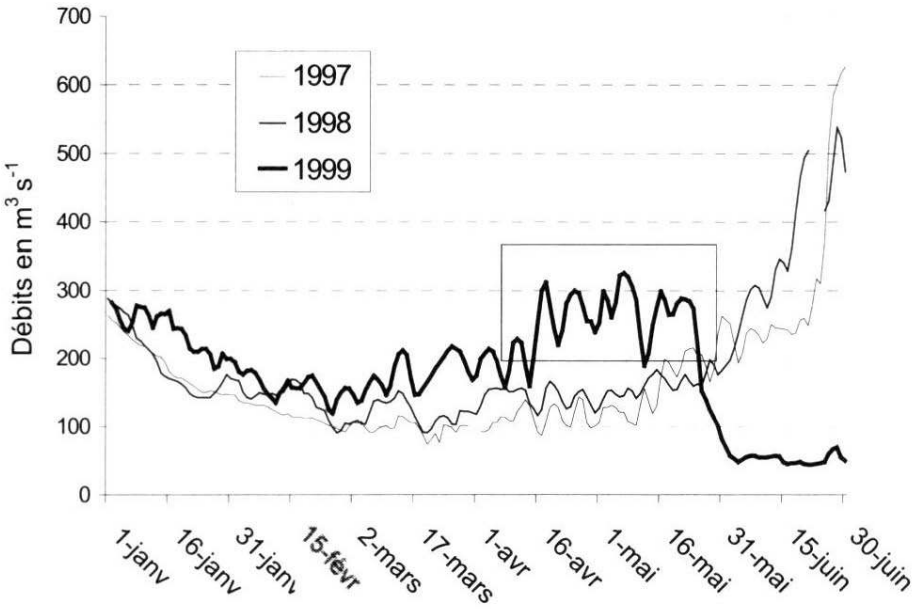


Figure 6. Débits journaliers du fleuve Niger à la station de Koulikoro (en $m^3 s^{-1}$) pour les étiages des années 1997, 1998 et 1999 (source : base de données Hydrom, IRD/DNH ; Marieu *et al.*, 1998).

16 En fait, pour satisfaire les besoins en électricité de la région de Bamako, le barrage de Sélingué a fortement turbiné à partir de la mi-mars en s'écartant largement de l'ordinaire avec des débits supérieurs à 200 $m^3 s^{-1}$, ce qui a vidé précocement le réservoir. Le 20 mai, les écoulements du Sankarani à l'aval du barrage s'arrêtent et le fleuve Niger se trouve dans une situation d'étiage achronique et exceptionnelle par son intensité. Or la cote du plan d'eau de l'Office du Niger est gérée par le barrage de Markala, qui est un barrage de dérivation sur le fleuve Niger à l'aval de Ké-Macina avec une capacité de stockage limitée (environ 5 % de la capacité de Sélingué). La pénurie d'eau se manifeste à Markala fin mai 1999. La fermeture du barrage de Markala est décidée le 30 mai, au moment où l'effet de la chute des écoulements sortant de Sélingué était évident, la propagation de l'onde entre Sélingué et Markala étant environ de 7 jours.

17 Mi-mai, l'Office du Niger a décidé de remplir les *falas* (bras morts du fleuve Niger utilisés comme canaux d'alimentation) par mesure de précaution. A partir de mi-mai, on constate une baisse du niveau d'eau en amont du barrage, et le 28 mai le plan d'eau est descendu sous la cote de consigne. Malgré la fermeture totale du barrage, le niveau d'eau a continué à descendre de 3 cm par jour durant tout le mois de juin pour atteindre le minimum de 299,45 m le 29 juin (fig. 7). La tendance s'est ensuite inversée et le niveau d'eau est remonté à raison de 6 cm par jour en moyenne. Le 30 juin, une pluie importante est intervenue dans les zones de l'Office du Niger réduisant les besoins en eau du périmètre. Dans le même temps, le débit à Koulikoro a commencé à reprendre : le 7 juillet, on constate un débit de 110 $m^3 s^{-1}$ annonçant la fin de la période de crise. Le 15 juillet, le plan d'eau se situait à 300,35 m, soit alors au-dessus de la cote de consigne (fig. 7). En utilisant l'abaque de Sogréah (1992), on peut calculer le potentiel de stockage, qu'a utilisé le gestionnaire du barrage pour continuer à alimenter les canaux du Sahel et Macina pendant cette période de crise ; ce potentiel de stockage s'élève à 110 millions de m^3 (Hassane *et al.*, 2000). Pour une demande de 104 $m^3 s^{-1}$ de l'Office du Niger et un débit moyen de 62 $m^3 s^{-1}$ dans le fleuve Niger à Koulikoro pendant cette période de crise, la réserve pourrait dans ce cas fournir ce débit pendant 31 jours, d'où la forte diminution des prélèvements de l'Office du Niger enregistrée au 30 juin (fig. 7). Il faut attendre la reprise des écoulements du fleuve le 7 juillet, pour que les prélèvements d'eau de l'Office du Niger retrouvent leur niveau habituel.

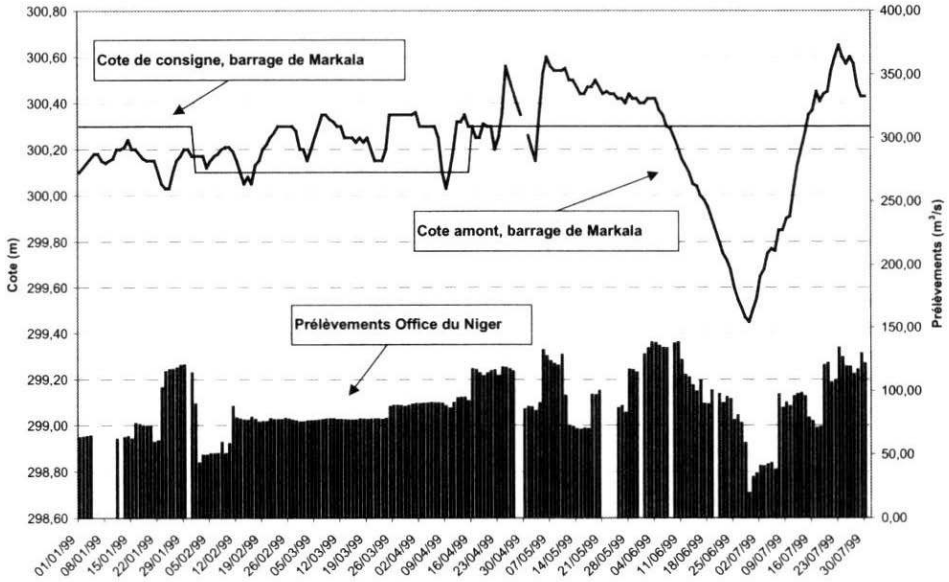


Figure 7. Évolution du plan d'eau amont du barrage de Markala et des débits prélevés par l'Office du Niger (canaux du Sahel, de Macina et de Costes Ongoïba) lors de l'étiage artificiel de 1999 (source : SERP, Office du Niger ; Morell et Grandin, 1981 ; Kuper *et al.*, 2000).

Impact sur la production agricole

18 L'impact de la pénurie d'eau pendant l'étiage 1999 sur la production agricole a été analysé en termes de perceptions de la crise par les producteurs. Une enquête a été menée auprès d'un échantillon de 210 chefs d'exploitation répartis dans les cinq zones de l'Office du Niger et dans le casier de Béwani. Dans chaque zone, les 35 exploitations ont été choisies dans différents villages correspondant à différents distributeurs et partiteurs (Chohin-Kuper et Sow, 2000).

Un manque d'eau sensible en début d'hivernage

19 Le manque d'eau a été sensible en début hivernage comme le confirment les producteurs qui ont perçu des manques d'eau dans la moitié des cas à partir de mai et surtout en juin. En effet, 70 % des problèmes d'eau ont été rencontrés en juin, période de forte baisse dans le fleuve. En juillet les problèmes s'estompent en raison de l'arrivée précoce des pluies. Les zones ont été plus ou moins touchées, deux canaux sur trois ayant eu leur alimentation assurée en eau. Tous les producteurs de la zone irriguée par le canal Costes-Ongoïba ont mentionné des problèmes d'eau en début d'hivernage. La zone de Kouroumari a aussi été fortement touchée avec 75 % des exploitants sur le distributeur Sokolo ayant rencontré des problèmes, contre environ un tiers des exploitants des zones de Niono et N'Débougou, et moins de 20 % pour ceux de Molodo et de Macina. Dans la zone de Macina, les analyses ont montré le maintien d'un débit relativement important pendant la période de crise d'eau. De plus, les recommandations ont été largement diffusées par l'Office du Niger (par les aiguadiers en particulier) et suivies par les producteurs. Elles ont concerné par ordre d'importance : l'arrêt de l'implantation des pépinières (49 %), la bonne gestion de l'eau disponible (23 %), l'instauration de tours d'eau (15 %).

20 La pénurie d'eau a entraîné un retard du repiquage pour environ 45 % des exploitations et 40 % des superficies. Ce retard est le plus souvent consécutif au retard de semis de la pépinière. Cependant les producteurs ayant fait leur pépinière à la date prévue n'ont pas toujours pu respecter le délai de repiquage et ont dû retarder la date de repiquage, ce qui implique le repiquage de plants plus âgés susceptible d'avoir un impact négatif sur les rendements. En fait, les problèmes d'eau ont accru les décalages entre les producteurs installant leurs pépinières relativement tôt et ceux le faisant plus tard. Ce retard du repiquage aurait pu être plus important sans l'arrivée de pluies suffisantes en juillet qui a permis l'installation des pépinières ou le repiquage des pépinières implantées tôt.

Baisse modérée des rendements et fortes disparités

21 Une baisse du niveau de production liée à l'excès d'eau et au retard du repiquage est enregistrée, même si elle reste modérée. Les producteurs mentionnent une baisse de la production par rapport à l'année précédente pour plus de la moitié des parcelles. Dans la zone de Béwani (dépendant du canal Costes-Ongoïba), 80 % des superficies seraient affectées par des baisses de rendement. Paradoxalement, la première cause mentionnée est l'excès d'eau liée à l'abondance des pluies à partir de juillet et aux problèmes consécutifs de drainage. Cependant le retard de repiquage lié à la crise d'eau n'est pas étranger à la baisse des rendements car l'excès d'eau est d'autant plus préjudiciable que le repiquage a été réalisé en retard (environ 16 % des baisses de rendement). De même, le retard du repiquage a eu un impact négatif indirect sur le tallage qui a alors coïncidé avec les pluies abondantes (2 % des baisses). D'autres raisons, indépendantes de la crise d'eau expliquent aussi ces baisses (retard dans l'attribution des parcelles, inondations de parcelles...).

22 Les différences de rendements entre les parcelles ayant des rendements inchangés par rapport à l'année précédente et celles ayant vu leur rendement baisser atteignent en moyenne 500 kg ha^{-1} pour les petites exploitations des zones réaménagées et pour les petites et moyennes exploitations des zones non réaménagées. Pour les moyennes exploitations de la zone réaménagée, la baisse de rendement atteint jusqu'à près de 1 500 kg ha^{-1}. Pour l'ensemble de la zone, cette baisse atteindrait en moyenne 700 kg ha^{-1}. Même si environ 40 à 50 % des superficies sont concernées, cela représente une perte qui peut être estimée à environ 20 000 tonnes, soit une baisse avoisinant 6 %. Cette baisse globale est certes modérée mais pour les exploitations les plus touchées, comme celles de Béwani, elle atteindrait jusqu'à 30 %. Pour des exploitants qui possèdent des superficies rizicoles relativement limitées par rapport au nombre d'actifs en raison de l'attribution progressive en fonction des extensions, ces chutes sont loin d'être négligeables. Cette baisse de productivité n'est cependant pas confirmée par les statistiques officielles de l'Office du Niger qui mentionnent une progression de la production en 1999/00 par rapport à 1998/99, malgré le retard de la campagne et les problèmes d'inondation qui ont touché environ 1 000 ha.

Faible impact du barrage de Sélingué sur le delta intérieur du Niger

23 Pour déterminer l'impact de la gestion du barrage de Sélingué sur les systèmes de production dans le delta, nous avons utilisé *Midin,* une modélisation intégrée du delta intérieur du Niger (Kuper *et al.*, ce volume)[6]. Cet modèle est construit à partir d'une représentation géoréférencée hydrologique fondée sur la structure en réseau (nœuds et

flux) de l'hydrosystème delta et sur les fonctionnalités hydrologiques des objets géographiques (transfert, stockage, vidange). Les attributs des objets spatiaux concernent l'eau, moteur du système, mais aussi certains champs de l'écologie végétale et planctonique, les différents biotopes d'intérêt halieutique, agricole et pastorale, les lieux de résidence des groupes humains et leurs stratégies de migration pour l'exploitation des ressources naturelles. Si donc la variable explicative principale est la quantité d'eau, les variables de sorties sont les productions possibles des zones de pêche, des zones agricoles et des zones pastorales et leur revenus associés. Nous avons simulé les écoulements naturels – calculés à partir des équations de Soumaguel (1995) et de Hassane *et al.* (2000) –, évalué l'impact de ces écoulements sur les systèmes de production et comparé ce scénario avec la situation actuelle. Il apparaît un très faible écrêtage de la crue et surtout un fort soutien des étiages (fig. 8, colonne de gauche, troisième courbe) attribuable à l'influence du barrage de Sélingué. Le graphe de la surface inondée (colonne de gauche, quatrième courbe) met en évidence l'impact négligeable du barrage sur la surface inondée pendant la crue, surtout en année de bonne et moyenne crue (1994/95 et 1995/96). En année de mauvaise crue (1993/94), on note alors une légère diminution de la surface inondée. Par contre, les étiages toujours renforcés par le barrage de Sélingué se traduisent par une augmentation de la surface inondée. L'effet du barrage de Sélingué semble contrasté en ce qui concerne les revenus des pêcheurs (colonne de droite, quatrième courbe). D'un côté, la saison de pêche se prolonge (colonne de gauche, première courbe), de l'autre côté les captures diminuent légèrement au début de la décrue (surtout en année de forte crue, exemple de 1993/94) en raison d'une décrue moins abrupte depuis l'installation du barrage de Sélingué. Selon Niaré et Bénech (1993), l'amélioration des conditions hydrologiques de l'étiage aurait pour effet principal de favoriser le maintien et la reproduction du stock de poissons après la saison de pêche de décrue, ce qui équivaut à une protection de la ressource. Mais les revendications des pêcheurs concernent les oscillations du fleuve en étiage car ils ne peuvent plus réaliser les pêches d'épuisement sur un court laps de temps. Cependant l'effet du barrage de Sélingué sur le nombre de captures semble limité : Laë (1994) estime que la perte de la production halieutique à cause de Sélingué pour le delta s'élève à 2 000 tonnes, soit seulement de 2 à 5 % des captures annuelles. L'impact des différents aménagements en projet sur le bassin du fleuve Niger, tels que les barrages de Fomi (Guinée) et de Tossaye (Mali), sur le delta intérieur du Niger est plus préoccupant. Ces barrages, avec des capacités de stockage jusqu'à trois fois celle du réservoir de Sélingué, ont un effet d'écrêtage de la crue quand ils sont situés à l'amont du delta, diminuant fortement la surface inondée et gênant la régénération des ressources naturelles (Kuper *et al.*, ce volume). Des barrages situés à l'aval du delta (*e.g.* Tossaye) auront un impact sur les hauteurs d'eau pendant l'étiage.

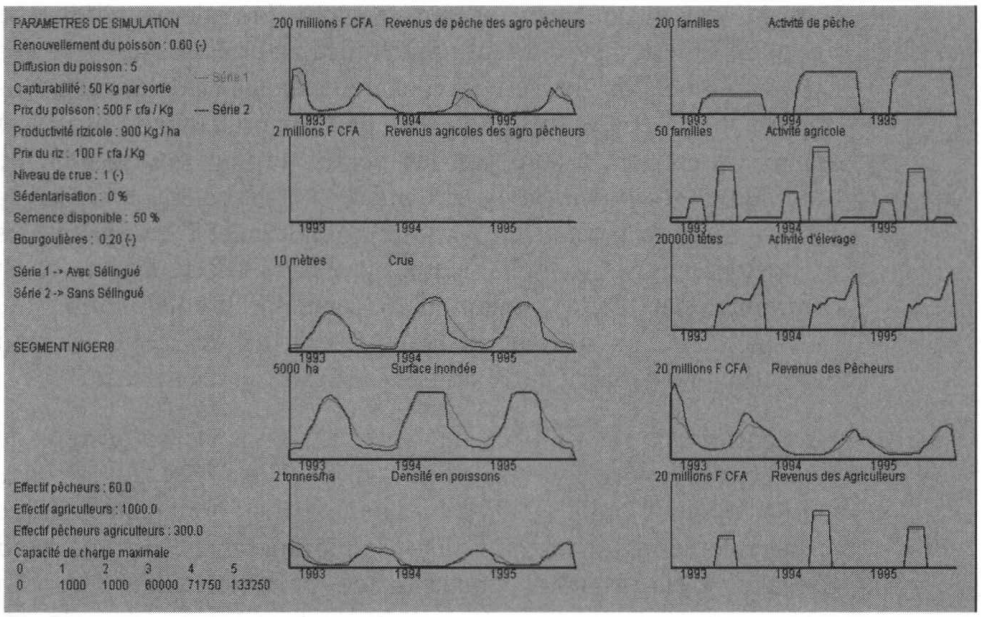


Figure 8. Impact du barrage de Sélingué : comparaison de la situation actuelle (avec barrage de Sélingué) avec la situation naturelle, exemple du bief Sensé-Konna.

Conclusion

24 Actuellement, le fleuve Niger est peu aménagé. Les barrages de Sélingué et de Sotuba permettent de générer de l'hydroélectricité (52,5 M W maximal), tandis que le barrage de Markala alimente les casiers de l'Office du Niger en rehaussant le plan d'eau du fleuve. Mais le barrage de Sélingué est le seul ouvrage capable de réguler les eaux du fleuve. Son impact sur les écoulements pendant les hautes-eaux, et donc sur la régénération des ressources naturelles dans le delta intérieur du Niger dépendant avant tout de l'importance de la crue, est limité en raison de la faible capacité de stockage du réservoir de Sélingué par rapport au volume des écoulements de crue du fleuve Niger. En revanche, l'effet pendant l'étiage est primordial puisqu'il permet de soutenir les débits à Koulikoro au-dessus de 100 $m^3 s^{-1}$, au moment où les besoins de l'Office du Niger sont importants par rapport au débit du fleuve, indépendamment du fait que la demande en électricité pour Bamako est plus élevée en saison sèche (au moment donc de l'étiage). En effet, si l'agriculture irriguée ne prélève que 10 % des apports annuels du fleuve Niger, sa dépendance est beaucoup plus importante en étiage (jusqu'à 80 % de l'apport à Koulikoro). Cet apport en eau est assuré par les débits turbinés au barrage de Sélingué. *La disponibilité en eau pendant l'étiage est donc limitée et dépend de la gestion du barrage de Sélingué.* L'extension des périmètres irrigués, actuellement en projet à l'Office du Niger, est contrainte par cette limitation. Cependant l'amélioration de l'efficacité de la gestion de l'eau à l'Office du Niger devrait permettre une certaine extension de la surface aménagée.

25 La dépendance de l'Office du Niger vis-à-vis de la gestion du barrage de Sélingué a été mise en évidence pendant l'étiage « artificiel » de juin 1999 lié à une gestion non concertée du barrage de Sélingué qui a privilégié la production d'électricité pour Bamako. Cela a induit une vidange prématurée du réservoir provoquant la baisse du plan d'eau du barrage de Markala en-dessous de la cote de consigne pour l'irrigation des périmètres de

l'Office du Niger. Les stratégies mises en œuvre à l'Office du Niger (fermeture du barrage, recommandations aux producteurs visant à retarder l'implantation des pépinières et à économiser l'eau) et l'arrivée précoce des pluies ont permis de limiter l'impact négatif sur la production rizicole de cette campagne 1999/00. La production aurait baissé de 6 %, *i.e.* 20 000 tonnes, mais avec de fortes disparités spatiales allant jusqu'à des baisses de 30 %. *La crise de l'étiage 1999 est un signal d'alarme démontrant la nécessité d'une gestion concertée de l'eau afin de garantir l'accès de l'eau à tous.*

26 Depuis leur installation, la gestion des barrages dans le bassin du fleuve Niger a évolué. Le barrage de Sélingué était au début des années 1980 sous la tutelle d'un comité mixte « de façon à pouvoir procéder aux arbitrages nécessaires » (Lotti et Sofrelec, 1975). La vidange prématurée du réservoir en 1999 a montré, qu'actuellement la gestion a pour but premier la production d'électricité malgré l'existence de règles de gestion insistant sur le maintien d'un débit minimum pendant l'intégralité de l'étiage. Le scénario de 1999 confirme que les gestionnaires d'ouvrage ont souvent tendance à tenir compte des contraintes techniques liées à la vocation première de l'ouvrage – souvent l'hydroélectricité – au détriment de l'environnement ou des autres usages de l'eau. Le défi à relever dans la gestion des aménagements d'un bassin fluvial est de parvenir à une gestion concertée des ouvrages.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bader J.-C, 1992 – *Chaîne de programmes pour la vérification, l'homogénéisation et le complètement des données hydrométriques.* Doc. Orstom-Agrhymet, Dakar, Sénégal.

Bricquet J.-P., Mahé G., Bamba F., Olivry J.-C., 1996 – « Changements climatiques récents et modifications du fleuve Niger à Koulikoro (Mali) ». *In : L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement,* IAHS Publ., 238 : 157-166.

Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.-P., Molinier M., 1986 – *Monographie hydrologique du fleuve Niger.* Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 2 tomes, 902 p.

Chohin-Kuper A., Sow M., 2000 – *Modes de gestion de l'eau et production agricole. Le cas de l'étiage 1999.* Rapport Insah, Bamako, Mali 19 p.

Cissé S., Gosseye P. A., 1990 – *Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali, rapport 1.* Centre des recherches agrobiologiques (Cabo), Wageningen, Pays-Bas, 170 p.

DRAMR, 1998, 1999 – *Bilan Campagne, régions de Mopti et Tombouctou, Mali.* Rapport DRAMR, Mopti.

Hassane A., Kuper M., Orange D., 2000 – Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'onde de la crue du delta intérieur du Niger au Mali. *Sud Sciences et Technologies,* 5 : 16-31.

Hydroconsult, 1996 – *Mise à jour de l'hydrologie pour la réhabilitation du barrage de Sélingué.* Rapport Orstom-EDF, Bamako, Mali, 2 tomes.

Keita N., Kaloga K., Bélières J.-F. 1999 – D'une gestion étatique de l'eau à une gestion paritaire état/usagers : le cas de l'Office du Niger au Mali. *Hydrotop '99,* Marseille, France.

Kuper M., Maïga H., 2000 – *Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Études et rapports Gihrex, ER52, IRD, Bamako, Mali, 39 p.

Kuper M., Gréard M., Hassane A., Mahieux A., Marieu B., Orange D., 2000 – *Étude hydraulique du réseau primaire de l'Office du Niger.* Études et rapports Gihrex, ER55, IRD, Bamako, Mali, 49 p.

Laë R., 1994 – « Modifications des apports en eau et impact sur les captures de poisson ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 255-265.

Lotti et Sofrelec, 1975 – *Barrage de Sélingué sur le Sankarani, recommandations sur les problèmes de gestion et de fonctionnement.* Doc. DNH, Bamako, Mali, 19 p.

Mahé G., Bricquet J.-P., Soumaguel A., Bamba F., Diabaté M., des Tureaux T., Kondé C, Leroux J.-F., Mahieux A., Olivry J.-O, Orange D., Picouet C, 1997 – Bilan hydrologique du Niger à Koulikoro depuis le début du siècle. *Acta hydrotechnica,* 15/18 : 191-200.

Marieu B., Bamba F., Bricquet J.-P., Cissé N., Gréard M., Henry des Tureaux T., Mahé G., Mahieux A., Olivry J.-C, Orange D., Picouet C, Sidibé M., Touré M., 1998 – *Actualisation des données hydrométriques du fleuve Niger au Mali pour Equanis.* Etudes et rapports Gihrex, ER32, IRD, Bamako, Mali, 81 p.

Morell M., Grandin J., 1981 – *Étalonnage des ouvrages du canal du Sahel (Office du Niger).* Rapport Orstom, Bamako, Mali, 11 p.

Niaré T., Bénech V., 1993 – Modifications de la croissance de *Brycinus leuciscus* (Characidae) suite aux changements hydroclimatiques et halieutiques dans la plaine inondée du delta central du Niger. *Ichtyol. Explor. Freshwaters,* 4 (1) : 65-78.

Olivry J.-C, 1995 – « Fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta intérieur ». *In* Olivry J.-C, Boulègue J. (éd.) : *Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone,* Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 267-280.

Ouvry F., Marlet S., 1999 – *Suivi de l'irrigation et du drainage : étude des règles de gestion de l'eau et bilans hydro-salins à l'Office du Niger (cas de la zone de Niono, Mali).* Doc. IER, Niono, Mali, Travaux et études n° 8.1 et 8.2, 30 p. et 105 p.

Palangié A., 1999 – *Origines et caractéristiques de la pollution des eaux de Bamako : une première approche pour la gestion et l'épuration.* Mémoires Gihrex, M19, IRD, Bamako, Mali, 102 p.

Rey H., Kassibo B., Salamanta M., 1994 – « Pirogues et constructeurs : approche d'une activité informelle ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 311-321.

Smith M., 1992 – Cropwat, a computer program for irrigation planning and management. *FAO Irrigation and Drainage paper,* 46, Rome, Italie, 126 p.

Sogréah, 1992 – *Barrage de Markala, consignes générales d'exploitations.* Doc. Sogréah, Grenoble, France.

Sogréah, BCEOM, Bético, 1999 – *Étude du schéma directeur d'aménagement pour la zone de l'Office du Niger.* Doc. Office du Niger, Ségou, Mali, 116 p.

Soumaguel A., 1995 – *Influence du barrage de Sélingué sur le régime hydrologique du Niger.* Mémoire de fin d'études, Doc. Agrhymet, Niamey, Niger, 69 p.

NOTES

1. Comme d'ailleurs partout en Afrique, 63 % des prélèvements d'eau sont destinés à l'agriculture.
2. Pour calculer la consommation en eau du riz à submersion libre/contrôlée, nous prenons le taux d'évaporation déterminé par Olivry (1995) diminué par la pluie et multiplié par un coefficient cultural de 1,1 pendant la saison de culture (Smith, 1992). En août, la crue rentre dans les bassins de riz, qui est déjà au stade de tallage grâce aux pluies de juin et juillet. Nous avons pris une hauteur d'eau de 75 cm pour le remplissage des bassins (comptabilisé pour le mois d'août). La récolte est faite pendant les mois de novembre et décembre.
3. Keita *et al.* (1999) insiste sur les multi-usages de l'eau : « la remise en eau des falas permet à une population nombreuse d'exercer de multiples activités productives autre que l'agriculture irriguée : pêche,..., la pisciculture, l'élevage, l'exploitation des ressources ligneuses, le transport par pirogue... ».
4. Laë R., Mahé G., ce volume – « Crue, inondation et production halieutique : un modèle prédictif des captures dans le delta intérieur du Niger ». *In : partie 4.*
5. Marie J., ce volume – « Milieux, riziculture, infrastruture pastorale : les enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger ». *In : partie 3.*
6. Kuper M., Mullon C, Poncet Y., Benga E., Morand P., Orange D., Mahé G., Arfi R., Bamba F., ce volume – « La modélisation intégrée d'un écosystème inondable : le cas du delta intérieur du Niger ». *In : partie 4.*

AUTEURS

MARCEL KUPER

Hydraulicien. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France,

ADAMA HASSANE

Hydrologue

DIDIER ORANGE

Hydrologue. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France,

ANNE CHOHIN-KUPER

Socio-économiste. Cemagref, Montpellier, France,

MARIAMA SOW

Socio-économiste. Institut du Sahel (Insah), Cils, Bamako, Mali,

Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée a la lumière des données récentes

Implications en terme de gestion

Amaga Kodio, Pierre Morand, Kaïmama Diénépo et Raymond Laë

1 La pêcherie du delta intérieur du Niger est la plus grande en Afrique de l'Ouest continentale avec une production annuelle moyenne de quarante à cent vingt mille tonnes de poissons selon les années. Du fait des conditions hydroclimatiques très défavorables qui ont prévalu de 1973 à 1993, cette pêcherie a traversé d'importantes vicissitudes : baisse des captures, accroissement des conflits et émigration de nombreux pêcheurs (Quensière, 1994). Toutefois, ces dernières années, marquées par le retour de conditions environnementales meilleures, ont vu une vive reprise de la production, des activités et des investissements liés[1]. Cependant cette amélioration n'autorise pas à prendre le parti du laisser-aller et de l'insouciance ; il apparaît au contraire indispensable, peut-être plus que par le passé, de comprendre aujourd'hui les mécanismes de renouvellement d'une ressource qui, en alimentant une filière hautement monétarisée, assure des moyens de subsistance à plusieurs centaines de milliers de personnes et joue un rôle important dans l'économie du Mali. Nous rassemblons ici plusieurs jeux de données – anciens et récents –dans le but d'apporter un éclairage renouvelé (notamment par rapport aux travaux de Daget, 1949, et Laë *et al.*, 1994 a) sur la dynamique de cette ressource et en particulier sur sa façon de répondre à l'exploitation qu'elle subit.

2 Après avoir décrit l'origine des données utilisées, nous effectuerons un rappel des connaissances utiles en écologie des systèmes « fleuve-plaine » tropicaux. Nous décrirons ensuite, de façon qualitative puis quantitative, le diagramme d'exploitation halieutique qui prévaut actuellement dans le delta intérieur du Niger, avant d'étudier différents indices de l'impact provoqué par cette exploitation sur la ressource. Puis nous analyserons l'effet des variations environnementales interannuelles sur les captures, avant d'examiner pour finir les tendances évolutives au niveau pluriannuel (1995-2000). Tous ces éléments nous permettront de dessiner progressivement les traits d'un schéma

explicatif de la dynamique de renouvellement de cette ressource en relation avec la forme d'exploitation qui lui est appliquée. Et nous tenterons de tirer de ce schéma quelques implications en termes de gestion.

Contexte d'acquisition et représentativité des données

3 Les données utilisées dans ce travail sont récentes et proviennent du dispositif expérimental de l'observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger, en place depuis fin 1994 et poursuivi dans le cadre des projets de recherche Gihrex et Simes, associant notamment l'IRD et l'IER. Les méthodes d'acquisition et de traitement des données, rappelées brièvement ci-dessous, sont décrites sur l'adresse web http://www.ier.ml/peche, ainsi que dans Morand et Kodio (1996) puis Morand *et al.* (ce volume)[2].

4 Lors d'un programme de recherche mené dans les années 1987-1993, Laë *et al.* (1994 b) avaient défini, à des fins d'échantillonnage, une partition du delta en six strates géographiques justifiées sur des critères d'hydrographie et de dynamique d'occupation humaine. Laë (1995) avait évalué que trois de ces six strates contribuaient à elles seules pour plus de 80 % à la production halieutique totale du delta. A partir de fin 1994, trois zones échantillons, extraites de chacune de ces trois strates principales de la pêche, ont été mises sous suivi dans le cadre d'un dispositif expérimental d'observatoire (voir figure 1 *in* Morand *et al.*, *ibid.*, pour une carte de situation). Ces zones échantillons sont définies par des morceaux d'espace d'un seul tenant d'une surface de 80 à 160 km^2, ce qui correspond approximativement aux terroirs de pêche de deux à quatre villages. Chacune des zones est soumise à une observation quasi-permanente grâce au passage régulier de plusieurs systèmes d'enquêtes, dont les deux principaux, qui ont produit les données qui nous intéressent ici, sont décrits ci-après.

5 Le premier système d'enquête, dit « bimestriel », s'appuie sur un recueil de l'information par mode déclaratif. Il consiste à visiter un mois sur deux la totalité des sites d'habitat (villages et campements) des trois zones échantillons et à recenser dans chacun d'entre eux les présences et les activités des ménages de pêcheurs – jusqu'à enregistrer la déclaration du nombre de sorties de pêche réalisées durant les derniers jours (en précisant bien sûr les techniques utilisées).

6 Le second système d'enquête consiste à réaliser des observations factuelles de sorties de pêche à leur retour, sur des sites de mise à terre. Les sites ne sont pas visités de façon systématique, mais selon un mode d'échantillonnage à la fois raisonné et « opportuniste », c'est-à-dire cherchant d'une part, à assurer une certaine représentativité de la structure technique de l'activité (telle que celle-ci apparaît à travers les déclarations enregistrées lors de l'enquête bimestrielle menée en parallèle par le premier système d'enquête) et d'autre part, à tenir compte des possibilités de déplacement des enquêteurs et de l'information qu'ils acquièrent lorsqu'ils sont au travail sur la zone. En pratique, l'équipe de l'observatoire étant présente sur la zone, un site de mise à terre est choisi pour être enquêté le lendemain, durant une demi-journée. L'enquête a lieu le matin, au moment où les pirogues reviennent avec la prise réalisée au cours ou en fin de nuit, ou bien en fin d'après-midi (moment du retour des sorties qui se sont déroulées en pleine journée). Elle consiste à interroger, au fur et à mesure de leur arrivée, un certain nombre de « patrons de pirogue » (formant l'échantillon) sur les sorties qu'ils viennent d'effectuer. Pour chaque cas, on décrit la sortie réalisée de façon globale, puis le ou les lot(s) capturé(s) présents dans la pirogue, puis un sous-échantillon

d'individus poissons prélevés dans le(s) lot(s). En pratique, ce sont trois à quatre sites de mise à terre qui, sur chaque zone, sont régulièrement enquêtes. Un travail est réalisé *a posteriori* sur les données enregistrées pour vérifier que les jeux de données sont comparables d'une année à l'autre du point de la représentation des zones, des sites et des saisons.

7 La définition de la sortie de pêche (*fishing trip*), unité que nous allons utiliser dans de nombreuses analyses, mérite d'être rappelée. Il s'agit de la séquence d'opérations suivantes :

- déplacement vers un lieu de pêche pour y effectuer soit des « coups » avec un engin actif (épervier, filet dérivant, senne), soit la levée des poissons piégés ou maillés par un ou des engin(s) passif(s) préalablement posé(s) ;
- puis retour vers un lieu permettant la mise à terre des poissons capturés et, le cas échéant, leur vente.

8 La grande majorité des sorties de pêche impliquent deux pêcheurs sur une pirogue et ont une durée de deux à quatre heures. On conviendra que la sortie de pêche constitue, par sa définition, une unité de mesure de la quantité d'activité déployée par les pêcheurs. Cette quantité d'activité n'est certes pas strictement équivalente à une « pression de pêche » exercée sur la ressource, car le pouvoir de capture des techniques, les durées de pose des engins passifs et bien d'autres paramètres peuvent varier considérablement. Par contre le ratio de prise par sortie (qui est une productivité, au sens économique) est un excellent *indice de la disponibilité du poisson,* dans la mesure où les pêcheurs tendent toujours à utiliser les techniques de pêche les plus efficaces dans un contexte donné.

9 En plus des fichiers de l'observatoire de la pêche, trois autres jeux de données ont été utilisés. Il s'agit en premier lieu de données halieutiques collectées (par des méthodes comparables à celles décrites ci-dessus) lors du programme de recherche IER-Orstom (aujourd'hui IRD) réalisé il y a une dizaine d'années sur la région. Il s'agit en second lieu de données hydrologiques fournies par la Direction régionale de l'hydraulique de Mopti. Et il s'agit enfin des statistiques sur les flux commercialisés transitant par le port de Mopti, qui nous ont été fournies par 1'« Opération Pêche Mopti ».

Facteurs et processus de productivité naturelle en poisson dans les systèmes fleuve-plaine

Des conditions hydroclimatiques très typées

10 L'appartenance du bassin amont du Niger à la bande climatique soudano-sahélienne, caractérisée par une saison des pluies unique et centrée sur l'été septentrional (juin-septembre), entraîne un cycle d'apport en eau très typé au niveau de la région du delta intérieur. Ce cycle comprend une amorce de la crue en juin, avec un maximum de débit en fin de saison des pluies (septembre) ou bien au cours des semaines qui suivent (octobre). La décrue est rapide à partir de décembre, correspondant plus ou moins à la période de saison froide, puis on atteint le niveau d'étiage entre fin janvier et début mars. Les basses-eaux se prolongent ensuite durant quatre à cinq mois, en pleine saison chaude, en attendant l'arrivée de la saison des pluies sur le bassin supérieur (en mai ou juin) qui apportera quelques semaines plus tard une nouvelle crue au delta. Dans tous les cas, ce

cycle est très ample : entre avril-mai (minimum) et septembre (maximum), le Niger en entrée du delta (Ké-Macina) voit son débit s'accroître presque d'un facteur 100 !

11 Le fleuve connaît donc des variations de débit très fortes, mais ces variations se déroulent selon un calendrier annuel parfaitement réglé[3]. Ainsi la crue ne prend jamais les hommes au dépourvu puisqu'elle survient chaque année, à une ou deux semaines près, à la même date. Par contre, son ampleur est très variable d'une année à l'autre, comme le montre la figure 1. Pour rendre compte de cette variabilité et classer les crues en fonction de leur amplitude, nous convenons d'utiliser des valeurs seuils qui portent sur la cote enregistrée à Mopti au moment du pic de crue. Cela permet de définir les classes suivantes : les crues *faibles* (cote maximale inférieure à 5,50 m), les crues *médiocres* (cote maximale comprise entre 5,50 m et 6 m), les crues *moyennes* (cote maximale supérieure à 6 m mais restant inférieure à 6,60 m) et les crues *fortes* (cote maximale supérieure à 6,60 m). Ces dernières étaient dominantes dans les années 50 et 60. Sur la période récente 1989-1999, les crues dans le delta intérieur du Niger apparaissent comme « faibles » en 1989, 91, 92, 93, comme « médiocres » en 1996 et 1997, comme « moyennes » en 1994, 95, 98 et 99.

12 Compte tenu de la topographie très plane de la région, les écarts entre ces différentes classes de crue sont considérables si l'on considère la surface inondée. Ainsi la cote 4,50 m correspondrait à 6 250 km d'inondation, la cote 5,50 m à 11 500 km et la cote 6 m à 15 000 km^2, selon l'abaque proposé par Dembélé (1999).

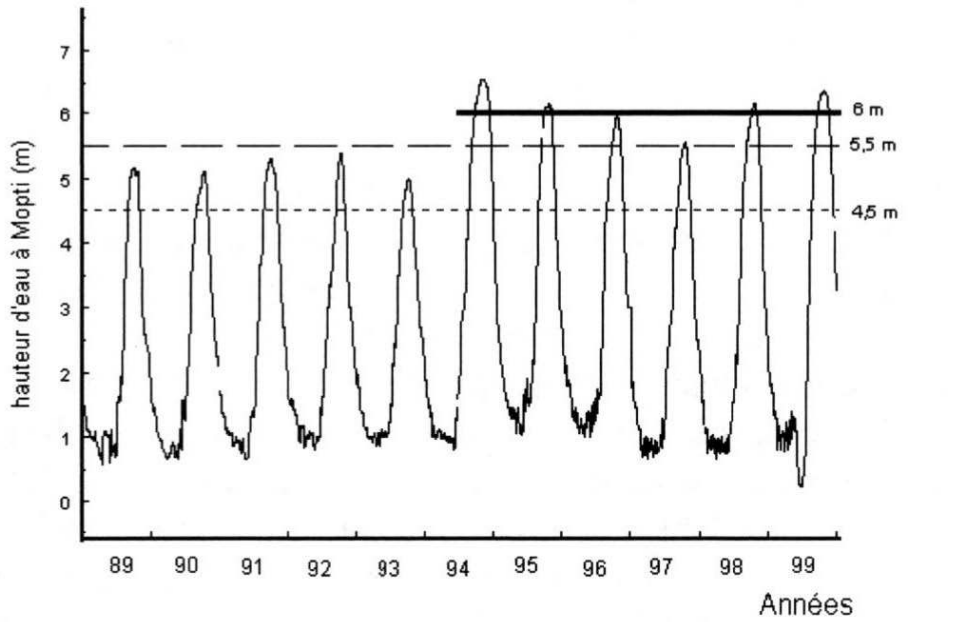


Figure 1. Le cycle des crues à Mopti depuis 1989, avec les barres seuils (5,50 m et 6 m) qui permettent de distinguer des classes de crue en fonction de la cote maximale atteinte. La barre seuil inférieure (4,50 m) a été franchie une seule fois lors du minimal séculaire de 1984 (cote maximale : 4,40 m à Mopti).

Des mécanismes d'édification de la ressource de mieux en mieux connus

13 Les mécanismes qui concourent à l'édification de la biomasse, et en particulier de la biomasse en poisson, sont aujourd'hui bien connus, au moins sur le plan qualitatif. Nous les résumons brièvement ici, en renvoyant le lecteur qui souhaiterait davantage de détails

à des auteurs comme Daget (1949) et Welcomme (1979) ainsi qu'à la partie 2 du présent ouvrage.

14 C'est généralement entre mi-juillet et fin août que l'inondation arrive sur les plaines dénudées, qui sont alors jonchées de déjections bovines et de débris de pailles. Ce phénomène amorce une cascade de processus biotiques. Ceux-ci commencent par la remise en suspension des débris de matières organiques qui vont être minéralisées par les bactéries ou directement consommées par des micro-organismes hétérotrophes, le tout contribuant, sous forme de sels nutritifs ou de micro-plancton, à alimenter la chaîne trophique aquatique. Cette chaîne trophique emprunte ensuite différents chemins – certains passant par la croissance des macrophytes, supports de la multiplication d'une multitude de petits organismes épiphytes, d'autres par le développement du phytoplancton bientôt consommé par le zooplancton. Mais dans tous les cas, cette abondance d'organismes vivants ou morts va permettre à d'innombrables alevins et juvéniles de poissons de se nourrir et de grandir rapidement. En effet, la plupart des espèces de poissons ont pour stratégie adaptative de caler leur période de reproduction sur celle de l'abondance trophique, avec une légère anticipation, d'où des pontes massives en août et septembre (Bénech et Dansoko, 1994) qui permettent à la progéniture, une fois éclose et ayant dépassé le stade vitellin, de bénéficier des conditions trophiques les plus favorables au moment où l'inondation des plaines est à son maximum. La crue annuelle apparaît ainsi comme le moteur principal de la productivité naturelle de ce genre d'écosystème. Certains auteurs (Junk *et al.*, 1989) décrivent cela sous le terme de *flood puise* et font de l'ampleur de la surface balayée par l'avancée de la crue (considérée comme un « littoral mobile ») le facteur déterminant de la quantité de biomasse produite. En effet, ce littoral réalise par son déplacement, en chacun des points de la plaine, toutes les conditions successives de la productivité aquatique. D'après Arfi (ce volume)[4], ces conditions peuvent être résumées comme suit : d'abord une faible profondeur (moins de 1 m) favorisant l'action du vent et des vagues et la remise en suspension des débris et particules organiques déposés sur le fond, puis quelques jours ou quelques semaines plus tard, une profondeur de 1 à 3 m idéale pour permettre la baisse de la turbidité et donc l'entrée de la lumière dans une eau désormais enrichie en sels nutritifs. C'est alors que les processus de production primaire peuvent fonctionner à pleine intensité pour le plus grand profit des maillons secondaires et supérieurs de la chaîne trophique, et des poissons en particulier. L'ampleur de la surface balayée par l'avancée de la crue dépend bien sûr du marnage et de la topographie. A titre d'exemple, le marnage à Mopti a atteint 5,80 m en 1999 et on conçoit que, dans cette région extrêmement plane qu'est le delta intérieur du Niger, cela représente des distances considérables parcourues par le « littoral mobile ».

L'activité de pêche : une dynamique fortement structurée dans le temps

Saisonnalité des pratiques de pêche

15 Dans le delta intérieur du Niger, seules deux ou trois techniques de pêche, utilisées tous les mois de l'année et sans conditions particulières, peuvent être qualifiées de « généralistes ». Il s'agit du filet dormant, de la palangre non appâtée et, dans une moindre mesure, de la petite nasse conique que l'on peut utiliser de façon « dispersée »

parce qu'elle est appâtée. Outre qu'elles sont utilisables dans tous les types de milieux ou presque, ces techniques ont pour point commun d'être « passives »[5], ce qui les rend compatibles avec la réalisation conjointe d'autres activités, aussi bien halieutiques qu'agricoles. Toutes les autres techniques, passives ou actives, sont déployées dans des conditions beaucoup plus spécifiques et selon une séquence précise, qui peut être décrite en quatre phases.

16 Pendant la décrue, les pêcheurs mettent à profit le déplacement important des poissons dans une eau encore abondante. Ils utilisent alors, outre les trois engins généralistes, les techniques suivantes : les grandes nasses, le filet relevant et le filet triangulaire disposés en barrages dans les chenaux, au moment où les poissons quittent les plaines et cherchent à regagner le fleuve ; ou le filet dérivant dans le fleuve pour capturer les bancs de migrateurs pélagiques qui remontent le courant. Puis en étiage, les pêcheurs profitent du moindre volume d'eau pour capturer les poissons qui se trouvent alors concentrés dans les mares ou dans des portions particulières du fleuve ou des bars. Ils utilisent alors : la grande senne ou la senne familiale, ainsi que d'autres techniques encerclantes ou couvrantes en certains endroits telles que l'épervier, le *xubi seu* (sorte de petite senne couvrante) ou la fourrière (filet maillant encerclant) ; et le filet-à-deux mains, le filet triangulaire et le *kango* (panier renversé), qui sont de petits engins maniés individuellement lors des pêches collectives d'épuisement réalisées dans les mares ou dans les bras en voie d'assèchement. Ensuite, en début de crue, des barrages de nasses et de filets sont à nouveau déployés (mais en moins grand nombre qu'en décrue) pour capturer les poissons lors de leurs mouvements de retour vers les plaines en cours d'inondation. Enfin, au moment des hautes-eaux, de mi-septembre à fin octobre, les pêcheurs s'occupent surtout de leurs champs de riz (désherbage, protection contre les oiseaux) et l'activité de pêche se réduit alors à la pose des engins passifs généralistes {*cf.* ci-avant), généralement aux abords immédiats des villages et à la seule fin de remplir la marmite familiale. Du reste, les poissons sont alors très peu vulnérables car dispersés dans l'immense étendue des plaines inondées. Et l'étroitesse des sites « au sec » (terres émergées) gênerait considérablement la transformation des prises pour la commercialisation (notamment le séchage).

17 Ce « cycle halieutique », déjà décrit qualitativement par Fay (1994), apparaît clairement sur nos résultats statistiques récents, qui montrent l'existence d'un effet calendaire pour la plupart des techniques (voir comme exemple la figure 2 pour l'une des zones échantillons, zone de Diakka-aval à l'Ouest du delta).

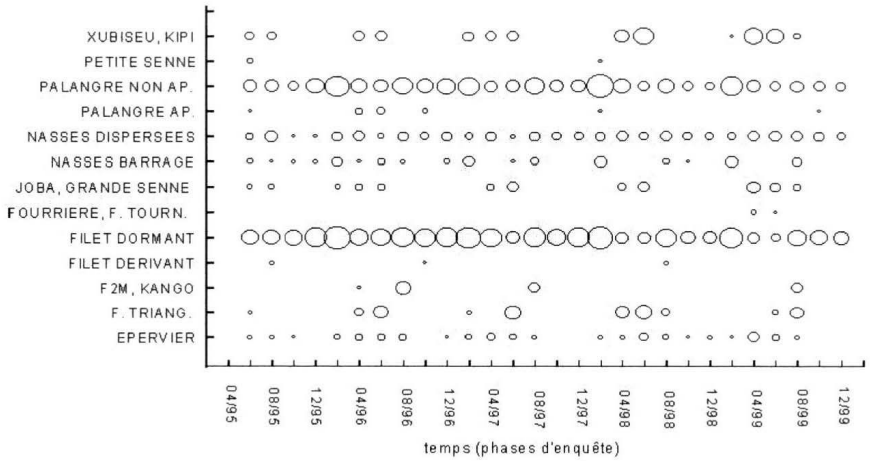


Figure 2. Évolution de la structure technique de l'activité de pêche observée un mois sur deux, entre juin 1995 et décembre 1999, dans la zone de Diakka-aval (ouest du delta). La surface des cercles est proportionnelle au nombre de sorties de pêche déclarées lors des enquêtes.

Saisonnalité de l'intensité globale d'activité

18 Les intensités d'utilisation des techniques de pêche se combinent pour engendrer un cycle annuel d'activité globale tout aussi contrasté (fig. 3), avec un net accroissement de l'activité (exprimée par le nombre de sorties de pêche, toutes techniques confondues) à partir de novembre ou décembre puis un acmé prolongé de février à juin, suivi par une baisse qui s'amorce en juillet et s'accentue en août jusqu'au minimum de septembre-octobre (et parfois novembre). Bien que parfois légèrement décalé d'une zone à l'autre, ce cycle présente *grosso modo* le même profil dans l'ensemble du delta – à l'exception de la région des lacs périphériques du Nord-Est, au régime hydrologique différent et que nous ne traiterons pas ici. L'amplitude de variation de l'activité entre les deux points extrêmes du cycle, à savoir le minimum d'octobre et le maximum de février, est à peu près d'un facteur 2 selon nos données (fig. 3). Cependant cette amplitude est sous-estimée, car les sorties de pêche sont beaucoup plus légères (moins de durée, moins de rayon d'action et moins d'engins posés par sortie) en octobre qu'en février. Ainsi la variation réelle de l'activité (considérée comme une quantité de travail) doit plutôt atteindre un facteur 3 ou 4 entre les deux points extrêmes du cycle.

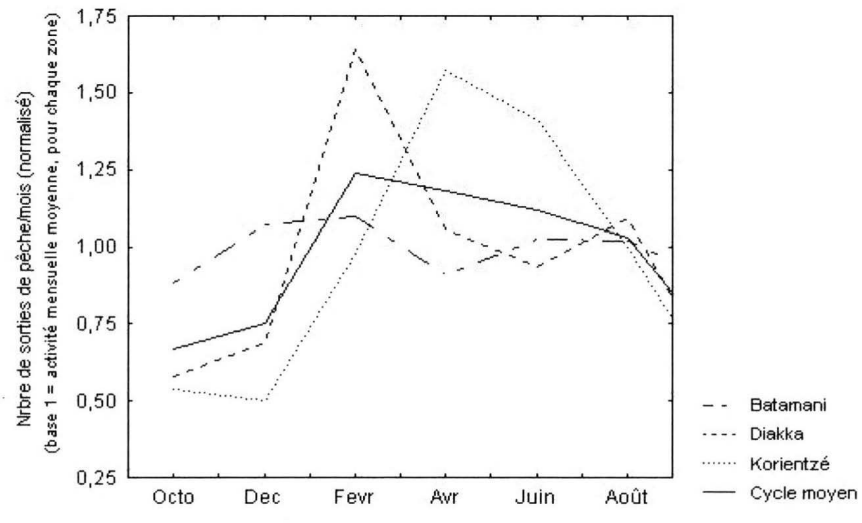


Figure 3. Saisonnalité de l'activité de pêche sur les trois zones de suivi (Batamani, Diakka-aval et Korientzé) de l'observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger. Puis représentation de la saisonnalité globale moyenne après agrégation des trois zones. Toutes les séries sont normalisées sur la base 1 = 1/12 de l'activité annuelle totale.

19 En résumé, il apparaît que les pêcheurs du delta sont loin de s'activer de façon constante et qu'ils concentrent l'essentiel de leur travail sur certaines périodes de l'année. Ce phénomène traduirait simplement une stratégie de mise à profit du cycle environnemental pour réaliser le maximum de captures avec un minimum de moyens. A cet égard, le fait le plus significatif est que les pêcheurs ne cherchent pas à capturer les poissons lorsque ceux-ci sont dispersés dans une grande masse d'eau, en septembre et octobre, mais qu'ils préfèrent attendre que le cycle hydrologique les « remette à leur disposition » un peu plus tard, en période de décrue et d'étiage.

Notion de « campagne de pêche »

20 Dans la mesure où la courbe d'activité se reproduit chaque année selon le même calendrier à peine décalé d'une année à l'autre et qu'elle passe toujours par un point bas en fin de crue / début de hautes-eaux, c'est-à-dire en septembre-octobre, il est possible d'introduire une notion commode : celle de *campagne de pêche.* On va ainsi considérer qu'une campagne s'étend entre novembre d'une année t et août de l'année suivante t+1. On pourra ainsi associer à chaque crue (de juillet à novembre de l'année t) la campagne de pêche qui la suit immédiatement (de novembre de l'année t à août de l'année t+1), ce qui revêt un grand intérêt méthodologique. Précisons d'ailleurs que cette notion de campagne n'est pas qu'une abstraction d'intérêt statistique mais qu'elle recouvre une réalité sociale et économique : la plupart des pêcheurs migrants reviennent en août vers leur village d'origine, où ils ne déploient qu'une faible activité de pêche, avant de repartir en novembre, décembre ou janvier vers les zones de pêche intensive, non sans avoir ré-investi pour ce nouveau départ dans un équipement rénové. La définition de « campagne de pêche » correspond donc bien au cycle annuel de déplacement et d'investissement réalisé par les ménages migrants, qui sont souvent considérés comme les « grands professionnels » de la pêche dans le delta intérieur du Niger.

Impact de la campagne de pêche sur la ressource

21 Rappelons tout d'abord les deux éléments essentiels dégagés précédemment, à savoir que la campagne de pêche s'étend de novembre à août et que cette période succède à la phase de crue et de hautes-eaux durant laquelle les poissons se reproduisent et grandissent. A partir de ces éléments, nous faisons l'hypothèse que l'activité de pêche (et la mortalité induite) exercée pendant les neuf-dix mois de campagne va avoir un impact observable sur la ressource, et cela de façon d'autant plus claire que cette ressource n'est pas alors en période d'intense renouvellement – peu de reproduction (Bénech et Dansoko, *ibid*) et peu de croissance individuelle, du moins jusqu'au mois de juin (Daget, 1952 ; Niaré, 1994). C'est cet impact que nous allons tenter de mettre en évidence et d'analyser en observant la modification qualitative et quantitative des captures au cours de la campagne.

Baisse de la diversité spécifique des captures entre début et fin de campagne

22 En cumulant toutes les observations de la première moitié de la campagne de pêche (du début novembre à la mi-mars), on obtient des statistiques de captures par espèce que l'on peut représenter sur un diagramme de type rang-fréquence. Il apparaît à cette période de l'année que les captures sont assez diversifiées, avec six espèces dépassant une contribution relative de 8 % (fig. 4). Notons que les quatre premières espèces de la famille des Cichlidae apparaissent respectivement en 5^{e}, 7^{e}, 8^{e} et 20^{e} position.

23 En procédant de la même façon pour la deuxième moitié de la campagne, on obtient un résultat bien différent (fig. 5). Les captures sont alors beaucoup moins diversifiées (seulement trois espèces dépassent 8 % de contribution relative) et il apparaît une très nette prédominance du tilapia *Oreochromis niloticus* qui représente à lui seul près du quart des captures.

24 De plus, les trois autres espèces de Cichlidae remontent en 2^{e}, 5^{e} et 7^{e} position. Or les espèces de cette famille sont particulièrement « résistantes » à la pêche, notamment du fait de leur aptitude à passer sous les filets encerclants en se couchant sur le côté, et il est donc très significatif de noter leur prépondérance en fin de campagne.

25 Selon nous, une telle évolution dans les rangs de dominance ne peut s'expliquer que par une mortalité massive subie par les autres espèces entre le début et la fin de la campagne. Et le prélèvement exercé par la pêche paraît être la cause la plus plausible d'un tel phénomène.

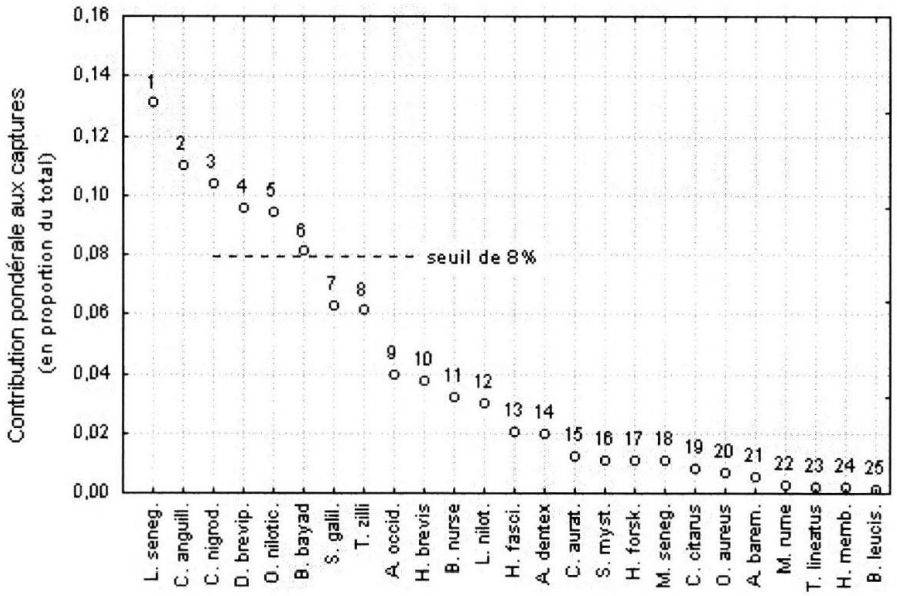


Figure 4. Diagramme rang-fréquence (ou plutôt rang-abondance puisqu'il s'agit de la contribution pondérale) des espèces dans les captures en première moitié de campagne. Toutes années confondues de fin 1994 à 1999.

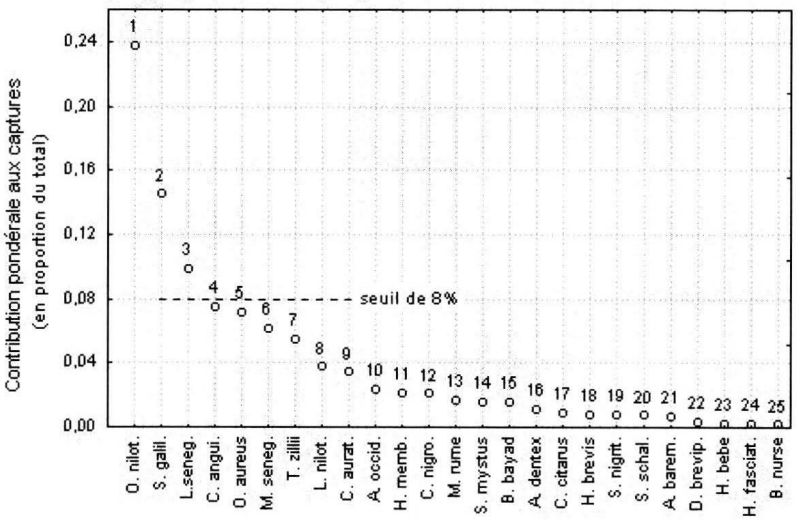


Figure 5. Diagramme rang-fréquence de la contribution pondérale des espèces aux captures en deuxième moitié de campagne. Toutes années confondues de début 1995 à 1999.

Baisse des captures par sortie au cours de l'avancement de la campagne

26 Globalement, les prises par sortie sont en moyenne deux fois plus faibles en deuxième moitié de campagne (fin mars à août) qu'en première moitié (début novembre à mi-mars), ce qui est déjà, par définition, un indicateur de baisse de disponibilité de la ressource. Cependant les variations de la quantité d'eau aux deux extrémités de la campagne (rappelons que l'on est encore en décrue jusqu'en janvier et que la crue s'installe dès juillet) ne permettent pas d'utiliser la disponibilité comme un indice direct d'abondance

du poisson sur la totalité de la tranche temporelle correspondant à une campagne de pêche. C'est pourquoi il est intéressant de se limiter à la tranche temporelle allant de février à juin, et de décrire précisément sur cette période l'évolution des captures par sortie. En effet, dans des conditions de stabilité du volume du milieu et de la structure technique d'activité (critères qui sont assez bien réunis sur la tranche temporelle considérée), il existe une proportionnalité entre prise moyenne par unité d'activité et abondance ou biomasse[6], puisque le facteur qui les relie – la capturabilité – peut alors être considéré comme constant (voir Laurec et Le Guen, 1981). L'évolution des prises par sortie entre février et juin (fig. 6) peut donc être utilisée comme un indicateur de l'évolution de la biomasse de poissons sur le même intervalle. Le constat que l'on peut effectuer, sur la base de l'ajustement statistique réalisé, est que la prise par sortie chute en moyenne d'un facteur 3 entre février et juin (fig. 6). On peut donc en déduire que les 2/3 environ de la biomasse ont été enlevés par la pêche (et accessoirement, peut-être dans le même temps, par les oiseaux) : il y a bien là un véritable phénomène d'épuisement ! Un tel impact du prélèvement halieutique ne doit pas surprendre si l'on se souvient que Laë (1995) estimait à 69 % la proportion de poissons 0+ (*i.e.* nés lors de la dernière crue) dans les captures sur la base de l'examen des structures de taille. Et le seul phénomène qui puisse expliquer qu'il y ait si peu d'individus d'un an ou plus dans les captures, est la faible proportion d'individus qui survivent à une campagne de pêche, ce qui renvoie au phénomène d'épuisement cité ci-dessus.

27 Les résultats présentés tendent à montrer que la campagne de pêche réalise en quelques mois un ramassage massif de la biomasse de poisson présente dans l'eau. Et comme les poissons péchés sont majoritairement des individus nés lors de la dernière crue, on peut schématiser la relation pêche-ressource en disant que *la campagne de pêche récolte la biomasse de poissons que la crue précédente a engendrée.*

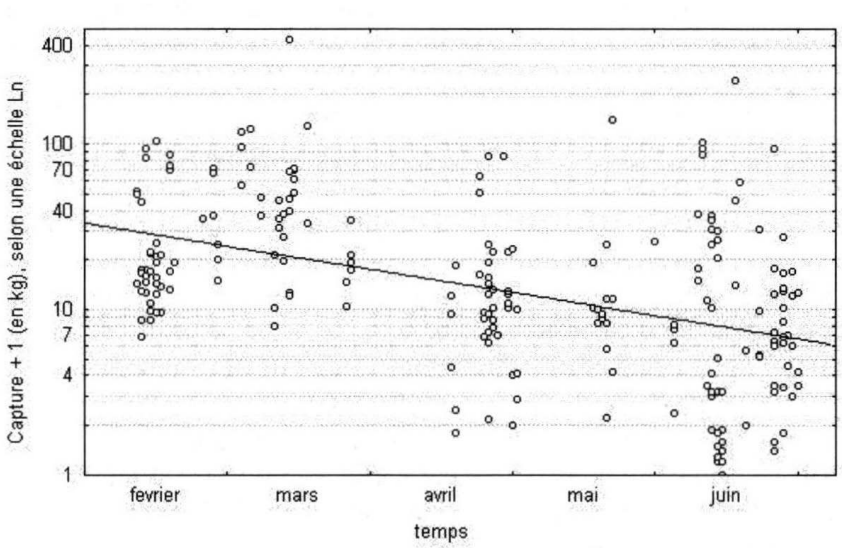


Figure 6. Évolution des prises par sortie de février à juin dans le delta intérieur du Niger, période pendant laquelle le volume d'eau est approximativement constant. Toutes campagnes confondues (1994-95 à 1998-99), tous engins et toutes zones confondus (n = 236 ; r = -0,43 ; p < 0,001).

Fluctuations inter-campagnes des captures.

28 Parmi les facteurs susceptibles d'affecter la capture réalisée lors d'une campagne, le plus simple à mettre en évidence est le facteur hydroclimatique, en considérant en priorité l'intensité de la crue qui précède immédiatement la campagne. En effet, il existe, comme nous l'avons dit plus haut, de fortes variations interannuelles de cette intensité, et l'étude des conséquences sur la production halieutique en est facilitée. L'autre facteur possible de variation est l'intensité de la pêche elle-même, dont nous envisagerons les effets possibles sur le long terme.

Un effet très marqué de l'ampleur de la crue immédiatement précédente

29 Pour étudier l'effet de la crue immédiatement précédente, on analyse la distribution des prises par sortie en différenciant les campagnes qui suivent différentes classes d'ampleur de crue, comme montré en figure 7. On constate que la prise par unité d'effort est très dépendante de l'intensité de la crue précédente. On note même que la gamme de variation, d'un facteur 4 environ, est plus large que la gamme de variation de l'extension de l'inondation, qui change d'un facteur 2,5 à 3 entre les crues faibles (de 7 000 à 8 000 km ^{2}) et les crues moyennes (environ 20 000 km^2). L'analyse des données de la deuxième moitié de la campagne conduit à des résultats tout à fait comparables, même si les valeurs y sont toutes à peu près deux fois moins élevées : les moyennes statistiques sont alors respectivement de 4,5 kg par sortie après crue faible, de 14,4 kg par sortie après crue médiocre et de 20,6 kg par sortie après crue moyenne.

Pas de tendance négative dans le long terme

30 Sur le long terme, on peut distinguer l'effet sur les captures totales des successions d'années de crues faibles, médiocres ou moyennes, qui ne sont généralement pas réparties de façon aléatoire dans le temps mais plutôt groupées par séquences plus ou moins longues d'années similaires. Ainsi les quantités commercialisées à Mopti (exprimées en équivalent poids frais) ont toujours été supérieures à 16 000 tonnes par an lors des six dernières campagnes qui étaient caractérisées par des crues « moyennes » ou « médiocres », alors qu'elles étaient toujours inférieures à cette valeur durant les cinq campagnes précédentes (de 1989/90 à 1993/94), qui relevaient de la période « de sécheresse » correspondant à des crues « faibles ».

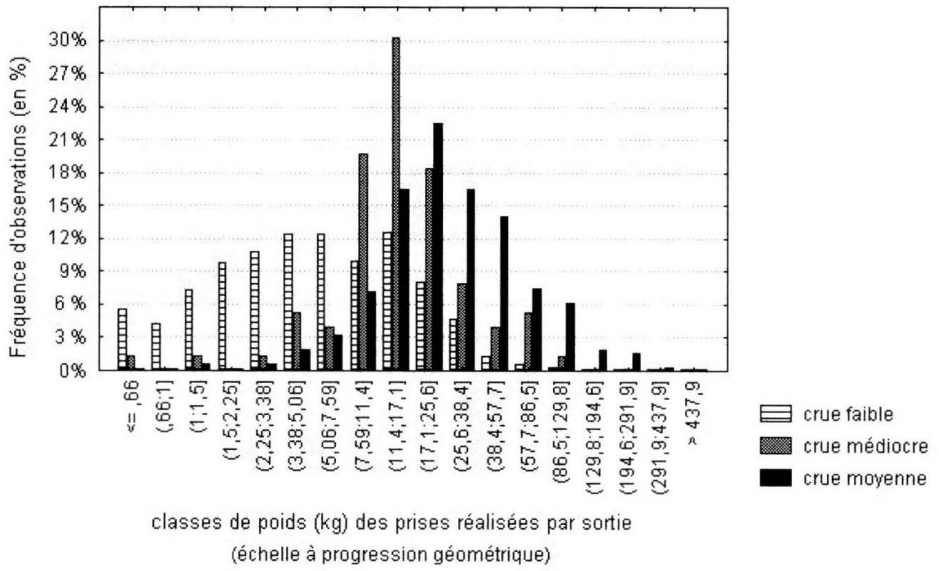


Figure 7. Log-distribution des prises par sortie en première moitié de campagne, en fonction de la classe d'ampleur de la crue immédiatement précédente. Les moyennes sont respectivement de 9,2 kg par sortie (après crue faible), 18,9 kg par sortie (après crue médiocre) et 37,9 kg par sortie (après crue moyenne).
La campagne après crue faible est celle de 1991/92, les campagnes après crues médiocres sont celles de 1996/97et 1997/98, les campagnes après crues moyennes sont celles de 1994/95, 1995/96 et 1998/99.

31 C'est aussi dans le long terme qu'il faut examiner un éventuel impact négatif de l'accroissement démographique et de l'intensification induite de la pression de pêche, qui est d'ailleurs accentuée par l'augmentation progressive, au fil des ans, du taux d'équipement des ménages (voir Laë *et al.*, 1994 a) et de la performance des engins. En d'autres termes, si le taux de ramassage effectué par chaque campagne est de plus en plus drastique, ne va-t-on pas arriver à un moment où la ressource ne pourra plus se reconstituer ? Cela est possible, mais rien de tel n'apparaît pour l'instant à travers l'examen des faits. Ainsi, à la fin de la campagne 1993/94, après des années de faibles crues durant lesquelles la pression de pêche avait été particulièrement intense puisque l'activité s'exerçait sur un hydrosystème de taille réduite, la ressource pouvait passer pour moribonde. Mais il a suffi de la survenue d'une seule crue de niveau « moyen » (celle d'octobre 1994) pour retrouver en quelques mois, dès le début de la campagne 1994/95, des niveaux de prise par sortie beaucoup plus élevés. Cela signifie que le faible stock de géniteurs présents dans l'eau en juillet 1994 a pu produire une progéniture – en termes d'œufs, de larves et de juvéniles – suffisante pour coloniser et exploiter pleinement les ressources trophiques des nouvelles plaines inondées par la crue de 1994, en dépit du fait que ces plaines s'étendaient sur une surface trois fois plus vaste que les années précédentes. Bien que de moindre ampleur, le phénomène identique s'est reproduit après la crue « moyenne » de 1998 qui a succédé aux crues « médiocres » de 1996 et 1997 (fig. 8).

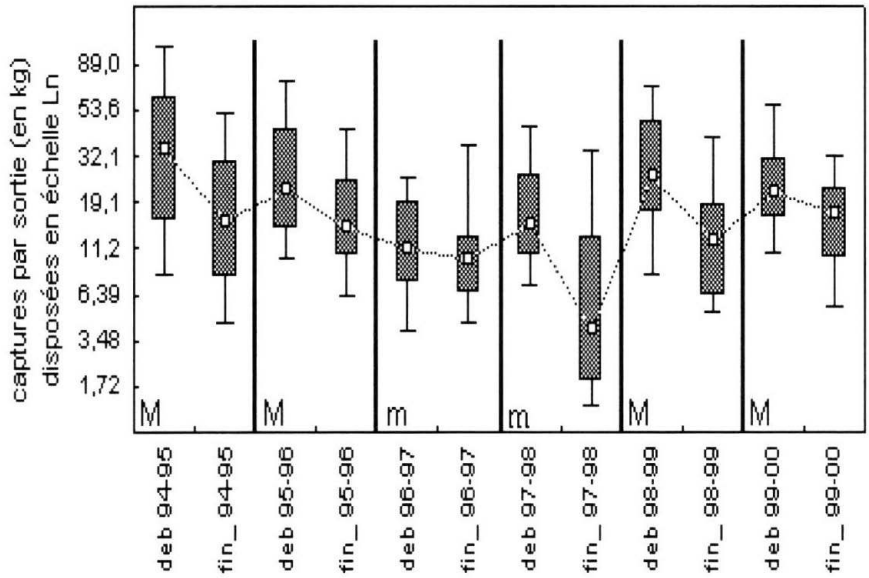


Figure 8. Évolution des prises par sortie, en première et en deuxième moitié de campagne, pour les six campagnes de pêche de 1994/95 à 1999/00. La ligne pointillée joint les valeurs médianes des distributions observées, les limites inférieures et supérieures des « boîtes » sont aux niveaux des percentiles 25 – 75 %, et celles des « moustaches » aux niveaux des percentiles 10-90 %. Les crues *moyennes* (supérieures à 6 m) sont repérées par des lettres M, les crues *médiocres* (entre 5,50 et 6 m) sont marquées m.

32 Tout ceci laisse supposer que le stock de géniteurs ne sera pas facilement pris en défaut de capacité de reproduction, du moins tant que la crue existera. Et ceci explique aussi pourquoi la modération de l'effort de pêche lors d'une campagne donnée ne peut guère avoir d'impact positif sur l'abondance du poisson ni sur les captures réalisables lors de la campagne suivante.

Conclusion

Implications en terme de gestion

33 La théorie bio-économique (Gordon, 1954) décrit généralement l'exploitation d'une ressource halieutique selon un modèle de rente financière. Dans cette vision, le stock de biomasse est vu comme un capital, tandis que la croissance annuelle de biomasse (par reproduction ou croissance somatique) représente les intérêts dégagés annuellement par ce capital. Ceci conduit à recommander une surveillance étroite du niveau de prélèvement annuel exercé pour éviter que ce niveau ne dépasse celui des intérêts dégagés et que l'avenir de la rente ne se trouve ainsi gravement compromis. Mais il semble bien que ce modèle ne soit pas universel et qu'il ne s'applique pas, en particulier, aux ressources halieutiques des systèmes « fleuve-plaine », dont la génération « par pulsation annuelle », avec un très fort renouvellement, n'est pas comparable, par exemple, à la croissance d'une forêt.

34 Ce qui s'est passé en 1994 et en 1998 dans le delta intérieur du Niger a montré qu'un stock faible de reproducteurs survivants en fin de campagne peut donner naissance quelques mois plus tard, si la crue est convenable, à une nouvelle génération très abondante entraînant un bon niveau de captures. Et sur le long terme, il apparaît clairement que les

quantités commercialisées à Mopti sont parfaitement et strictement corrélées à la crue immédiatement précédente (Laë et Mahé, ce volume)[7], sans que l'on puisse déceler un effet négatif de l'accroissement démographique et de la multiplication induite de l'effort. Des études par simulation ont d'ailleurs montré comment de tels comportements pouvaient apparaître sur la base d'hypothèses paramétriques tout à fait banales concernant la biologie des populations exploitées (Morand et Bousquet, 1994 et 2000). L'ensemble de ces résultats conduit à préconiser l'abandon, dans le cas des pêcheries de ce genre, du modèle bio-économique qui assimile l'exploitation de la ressource à celle d'une rente dégagée sur un capital et dont la gestion devrait être envisagée avec prudence dans le temps pluriannuel. En conséquence, la focalisation de la gestion sur des aspects réglementaires limitant l'activité halieutique sous prétexte de préserver l'avenir de la ressource ne paraît plus constituer une option justifiée.

35 Si le modèle de gestion précédent s'avère non pertinent pour la pêcherie du delta intérieur du Niger, peut-on en déduire pour autant que tout effort de gestion est inutile et que cette pêcherie peut être laissée à son sort, sans attention aucune ? Nous pensons que non, et nous en donnons quelques justifications.

36 Tout d'abord, s'il est vrai que dans la dynamique actuelle un excès d'activité de pêche réalisé par une fraction de pêcheurs lors d'une campagne donnée ne peut pas constituer une menace pour les captures de la campagne suivante, il est non moins vrai que ce même excès peut compromettre les captures réalisées par les autres pêcheurs durant la même campagne et avoir un impact économique négatif pour tous. En effet, si la quantité de poissons à pêcher est étroitement dépendante de l'ampleur de la crue précédente, cela signifie aussi que cette quantité est limitée et que, quelque soit l'activité totale déployée, les captures totales réalisées au cours de la campagne vont plafonner au niveau permis par les conditions naturelles. Une compétition intense et non régulée entre tous les pêcheurs pour la maximisation de leur production individuelle conduit donc inéluctablement à une perte du profit moyen dégagé par pêcheur (du fait de l'accroissement des coûts et des investissements consentis individuellement et alors que le chiffre d'affaire moyen ne peut que stagner) et éventuellement à des conflits entre pêcheurs pour le partage de la « récolte » de poisson.

37 Ces problèmes surgissent de façon très immédiate et sans impliquer une quelconque mise en danger de l'avenir de la ressource. D'où la nécessité d'une politique de gestion qui, d'une part, évite tout encouragement à l'investissement dans les moyens de capture, et, d'autre part, favorise à l'échelle de chaque campagne de pêche une répartition acceptable du flux annuel de poisson offert par l'écosystème.

38 Cependant la forte variabilité de ce flux naturel complique la définition d'une telle politique. En effet, le niveau d'investissement et le nombre de pêcheurs accédant à la ressource devraient idéalement pouvoir varier fortement d'une année à l'autre et s'adapter ainsi aux bonnes comme aux mauvaises conditions hydroclimatiques. Mais il semble peu réaliste d'envisager la mise en place d'une instance centrale qui fixerait et imposerait chaque année à la pêcherie des paramètres « optimaux » d'investissement et d'activité. A défaut de cela, on peut toutefois proposer une option minimale de précaution qui consisterait à éviter de placer des barrières devant les possibilités de flexibilité dont disposent encore les pêcheurs du delta, que ce soit par le changement d'activité principal (repli sur la riziculture) ou par la mobilité interrégionale ou internationale (déplacement vers les pêcheries de grands barrages). Dans le prolongement de cette idée, il est possible qu'une prédiction précoce, grâce aux variables météorologiques, de ce que sera l'ampleur

de la crue à venir et donc le niveau de production de la future campagne, puisse aider les pêcheurs à préparer plus tôt leurs stratégies d'activité de pêche ou de repli sur d'autres activités (voir Laé et Mahé, *ibid,* pour une tentative de ce type).

39 Enfin, si l'on convient que le stock de poisson présent dans l'eau à un moment donné ne peut pas être assimilé à un capital en danger, il n'est pas non plus raisonnable d'affirmer que le renouvellement de la ressource se déroulera toujours aussi bien qu'aujourd'hui sans que l'on ait à se préoccuper d'un quelconque effort de conservation. En effet, la capacité d'une crue de puissance donnée à engendrer de la biomasse est fonction de la qualité des milieux et de la configuration morphologique du système « fleuve-plaine ». Par exemple, un fleuve totalement endigué ne produirait probablement que de faibles quantités de poissons, mêmes si les débits en entrée restaient les mêmes qu'aujourd'hui. C'est pourquoi la mise en place d'une veille permanente sur l'état de l'écosystème, et éventuellement la mise en œuvre de mesures de conservation et d'entretien de celui-ci, constitue une autre dimension indispensable de la gestion de ce genre de pêcherie.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bénech V., Dansoko D., 1994 – « Reproduction des espèces d'intérêt halieutique ». *In* Quensière J. (éd.) : 213-228.

Daget J., 1949 – La pêche dans le delta central du Niger. *Journal de la Société des Africanistes,* 19 (1) : 1-79.

Daget J., 1952 – Mémoire sur la biologie des poissons du Niger moyen. I – Biologie et croissance des espèces du genre Alestes. *Bull. IFAN,* série A, 14(1) : 191-225.

Dembélé L, 1999 – *Synthèse analytique des modèles d'inondation dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Mémoires Gihrex, M33, IRD, Bamako, Mali, 58 p.

Fay C, 1994 – « Systèmes de production et d'activité : le Maasina ». *In* Quensière J. (éd.) : 363-382.

Gordon H. S., 1954 – The economic theory of common property resources : the fishery. *J. Pol. Econ.,* 62 (2) : 124-142.

Junk W. J., Bailey P. B., Sparks R. E., 1989 – "The flood pulse concept in river-floodplain systems". *In* Dodge D. P. (éd.) : Proc. of the international large river symposium, *Can. Spec. Publ. Aquat. Sci.,* 106 : 110-127.

Laë R., 1995 – Climatic and anthropogenic effects on fish diversity and fish yields in the Central Delta of the Niger River. *Aquatic Living Resources,* 8 : 43-58.

Laë R., Maïga M., Raffray J., Troubat J. J., 1994 a – « Evolution de la pêche ». *In* Quensière J. (éd.) : 143-163.

Laë R,, Morand P., Herry C, WeigelJ.Y., 1994 b – « Méthodes quantitatives : échantillonnage et traitement des données ». *In* Quensière J. (éd.) : 449-477.

Laurec A., Le Guen J. C, 1981 – *Dynamique des populations marines exploitées. Concepts et modèles.* Publications du CNEXO, Rapports Scientifiques et Techniques n° 45, 118 p.

Morand P., Bousquet F., 1994 – « Modélisation de la ressource. Relations entre l'effort de pêche, la dynamique du peuplement ichtyologique et le niveau des captures dans un système fleuve-plaine ». *In* Quensière J. (éd.) : 267-281.

Morand P., Bousquet F., 2000 – « Simulation de l'exploitation de ressources (fleuve Niger) ». *In* Gillon Y., Chaboud C, Boutrais J., Mullon C. (éd.) : *Du bon usage des ressources renouvelables,* Paris, IRD, coll. Latitudes 23 : 375-392.

Morand P., Kodio A., 1996 – *Mise en place d'an système de suivi de la pêche dans le delta central du Niger : concepts et méthodes.* Doc. CRRA de l'IER à Mopti, Mali.

Niaré T., 1994 – « Croissance des poissons ». *In* Quensière J. (éd.) : 229-236.

Quensière J. (éd.), 1994 – *La pêche dans le delta central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Welcomme R. L, 1979 – *Fisheries ecology of floodplain rivers.* London-New-York, Longman, 317 p.

NOTES

1. Ces investissements se sont intensifiés tout le long de la filière, depuis les pêcheurs qui ont remplacé les anciens filets multibrins par des monofilaments plus efficaces mais non réparables jusqu'aux commerçants qui accroissent leurs équipements en engins de transport (véhicules, pinasses) et en containers isothermes pour aller chercher le poisson sur les zones de production.
2. Morand P., Kodio A., Niaré T., ce volume – « Vers un observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger : méthodes, résultats et enseignements d'un dispositif expérimental ». *In : partie 4*
3. A l'exception, mineure mais notable, du passage d ondes de lâchers d'eau en provenance des grands barrages situés en amont. Ces ondes génèrent des micro-crues d'une hauteur de 10 à 20 cm et d'une durée de quelques jours, surtout sensibles en période d'étiage (mars-juin).
4. Arfi R., ce volume – « Contrôle environnemental de la productivité planctonique du delta intérieur du Niger ». *In : partie 2.*
5. Une technique de pêche est dite « passive » lorsque l'engin de pêche est posé puis relevé quelques heures ou quelques jours plus tard pour récupérer les poissons maillés ou piégés.
6. Il s'agit bien sûr de la biomasse « recrutée » qui exclut les poissons trop petits (< 5-6 cm).
7. Laë R., Mahé G., ce volume – « Crue, inondation et production halieutique : un modèle prédictif des captures dans le delta intérieur du Niger ». *In : partie 4.*

AUTEURS

AMAGA KODIO

Halieute. IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali,

PIERRE MORAND

Halieute. , SIH-Ifremer, Av. Jean Monnet, 34200 Sète, France,

KAÏMAMA DIÉNÉPO

Halieute. IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali,

RAYMOND LAË

Halieute. IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal,

Le barrage de Lagdo (Nord-Cameroun)

Impact sur les plaines d'inondation de la Bénoué

Benjamin Ngounou Ngatcha, Roger Njitchoua et Emmanuel Naah

1 D'après Dejoux (1988), les barrages et les systèmes d'irrigation qui leur sont associés vont permettre un développement agricole dans les régions très défavorisées, et il sera possible de créer la vie où il n'y avait que désert ou bien de fabriquer l'électricité essentielle à l'économie. Toutefois, le bilan n'est pas que positif, et beaucoup de plans d'eau artificiels s'accompagnent d'un impact très critique. Le barrage de Lagdo a été construit entre août 1977 et juillet 1982 sur le cours de la Bénoué. La retenue à l'amont de ce barrage a un potentiel de 7,7 milliards de m^3. La surface noyée à la cote 216 (niveau normal de la retenue) est de 697 km^2. En aval du barrage de Lagdo s'étendent de vastes plaines alluviales inondables favorables à la culture pluviale, la culture de décrue, la culture de submersion. Les travaux de Naah (1981), Tchoué (1983) et Olivry (1986) sur les ressources en eau du Cameroun ont prêté peu d'attention aux plaines inondables. De plus, depuis plus d'une décennie, le réseau d'observation hydrométrique qui comptait huit stations est actuellement abandonné, ce qui se traduit par la précarité des données hydrologiques actualisées. Pourtant, la gestion intégrée durable des plaines inondables nécessite que les données environnementales de base– notamment hydrologiques – de chaque plaine soient connues (Oberlin *et al.*, 1993 ; Kassah, 1994 ; Charmard *et al.*, 1997 ; Gepis, 2000) afin de sauvegarder des profits que les usagers de ces zones en retirent, de garantir la durabilité des systèmes d'exploitation respectueux de l'environnement et de maintenir la biodiversité (Poncet et Orange, 2000 ; Sally, 2000).

2 La présente étude met en évidence les multi-usages du barrage de Lagdo et des aménagements des plaines d'inondation associées, ainsi que les problèmes liés à la mise en service du barrage. L'objectif est de déterminer les actions à entreprendre pour garantir la rentabilité et la durabilité de l'exploitation des ressources naturelles des plaines d'inondation de la Bénoué.

Principales caractéristiques de la zone d'étude

Caractéristiques hydroclimatiques du bassin de la Bénoué

3 Les connaissances hydroclimatiques du bassin de la Bénoué (fig. 1) sont dues aux travaux de Naah (1981), Tchoué (1983) et Olivry (1986). Le bassin de la Bénoué est soumis à un climat tropical à deux saisons : une saison sèche (novembre à avril) et une saison humide (mai à octobre). Ce climat détermine deux saisons de production agricole : de juillet à septembre en culture pluviale, d'octobre à mars en culture irriguée. Le régime hydrologique de type tropical pur est caractérisé par une période de hautes-eaux (juillet à octobre avec le maximum en août / septembre) et une période de basses-eaux (janvier à mai avec étiage au mois d'avril). La pluviosité augmente progressivement sur l'ensemble du bassin à partir du mois de mai en raison de l'avancée du front intertropical vers le nord. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 600 à 1 400 mm selon les années et les secteurs tandis que la température moyenne annuelle varie entre 22 et 28 °C.

4 A la frontière du Nigeria, le réseau hydrographique du bassin de la Bénoué est constitué essentiellement des réseaux de trois bassins secondaires de tailles pratiquement équivalentes : le bassin de la haute Bénoué, le bassin du mayo Kébi et le bassin du Faro (qui n'est évoqué ici que pour mémoire car il n'a aucune influence sur notre zone d'étude). Chacun de ces bassins présente des particularités de régime. La Bénoué prend sa source à 1 300 m d'altitude sur le plateau de l'Adamaoua ; elle constitue le principal tributaire du fleuve Niger et le collecteur majeur du Niger inférieur sur le plan des apports. Jadis, le régime hydrologique de la Bénoué à Riao caractérisait le régime de la Bénoué en amont de la confluence avec le mayo Kébi. Le tableau 1 présente les débits moyens mensuels et annuels de la Bénoué et du mayo Kébi, comparables sur 25 ans avant la construction du barrage aux stations de référence de Riao, Cossi et Garoua. Les débits moyens les plus forts sont observés en septembre tandis qu'avril est le mois de plus basses-eaux. On retrouvait à Garoua les principales phases de crues de Riao, auxquelles les crues du mayo Kébi venaient se superposer. A Riao, le maximum de crue survenait en septembre ; en 1966, il a atteint 3 428 $m^3 s^{-1}$. A Garoua, le débit maximum de crue observé fut de 6 130 $m^3 s^{-1}$ le 26 août 1948, le débit journalier correspondant à cette crue étaient de 5 970 $m s^{-1}$ (Olivry, 1986).

Tableau 1. Débits moyens (en m s^{-1}) de la Bénoué et du mayo Kébi aux stations de références (Tchoué, 1983 ; Olivry, 1986).

Mois	Bénoué à Riao (1930–1980)	Mayo Kébi à Cossi (1954– 980)	Bénoué à Garoua (1930–1980)
Avril	1,5	1,5	2,8
Mai	5,5	6,4	13
Juin	34	48,5	91
Juillet	230	143	319
Août	837	307	1 055
Septembre	1 268	353	1 670
Octobre	506	155	730
Novembre	82	77	154
Décembre	24	44	55
Janvier	8	19,5	24,5
Février	2	7	12
Mars	2,5	2,5	5
Débit annuel	*250*	*97*	*350*

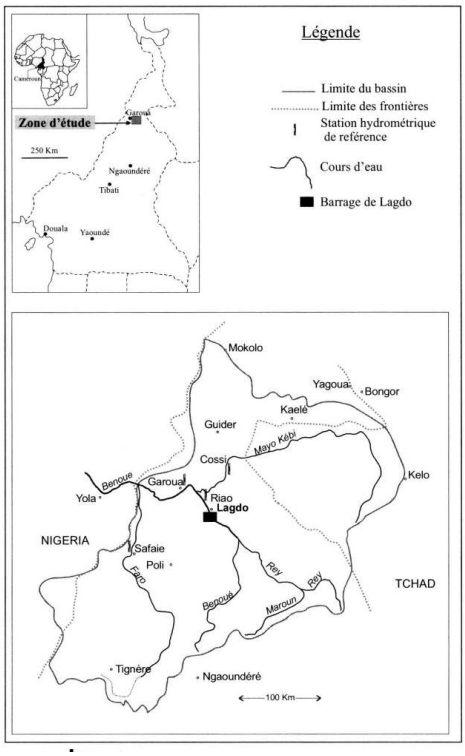


Figure 1. Localisation de la zone d'étude et bassin versant de la Bénoué.

Caractéristiques des plaines d'inondation de la Bénoué

5 Dans la plaine d'inondation de la Bénoué, Welcomme (1979 *in* Drijver et Marchand, 1985) distingue trois plaines alluviales : la plaine alluviale du delta côtier caractérisée par la remontée d'eau saumâtre jusqu'à 200 km en amont ; la plaine alluviale frangeante qui représente la zone inondable de chaque côté du fleuve ; le delta central dans lequel le bras principal du fleuve se résout en ramifications drainant une immense plaine alluviale avant de regagner le lit principal en-deçà de la zone deltaïque.

6 Selon Ouadba (2000), il existe aussi de larges zones de comblements, correspondant à d'anciens lacs, au relief extrêmement plat mais en pente très faible, qui reçoivent les débordements de certains fleuves (cas de la plaine du Logone, extrême Nord Cameroun). La figure 2 montre l'importance des zones d'inondation tant sur la Bénoué que sur le mayo Kébi. Les zones d'inondation du bassin de la Bénoué rentrent dans la catégorie des plaines frangeantes. La superficie totale de ces plaines est estimée à 1 000 km^2 et le potentiel à aménager est de 820 km^2, soit 82 000 ha.

7 La Bénoué est un cours d'eau au lit essentiellement sableux qui connaît des variations lors des passages des crues importantes. D'après Olivry (1986), la Bénoué coule dans une large vallée avec ses plaines de déversement dépassant parfois cinq et même dix kilomètres de largeur, ses méandres morts ou ses mares restent en eau toute l'année. Le paysage général est caractérisé par une plaine interrompue par des petites collines (de 100 à 200 m d'altitude), parcourue par un réseau de cours d'eau à caractère saisonnier (les mayos) et dominé par la Bénoué et son affluent le mayo Kébi (Minplat, 1993). A Lagdo, deux inselbergs de granite dominent la plaine, celui de Douka et celui de Lagdo.

8 A l'aval de Lagdo, les zones de débordement peuvent aboutir à de vastes plans d'eau, tel le Vimede Douloumi qui couvre en rive droite plus de 1 000 ha au droit d'Adoumari. Après son confluent avec le mayo Kébi, la vallée est bien marquée, séparée des zones inondables par les bourrelets de berge sur lesquels se développe une végétation arborée. La végétation dominante est une savane arbustive laissant la place dans les zones dégradées à une steppe peuplée d'épineux.

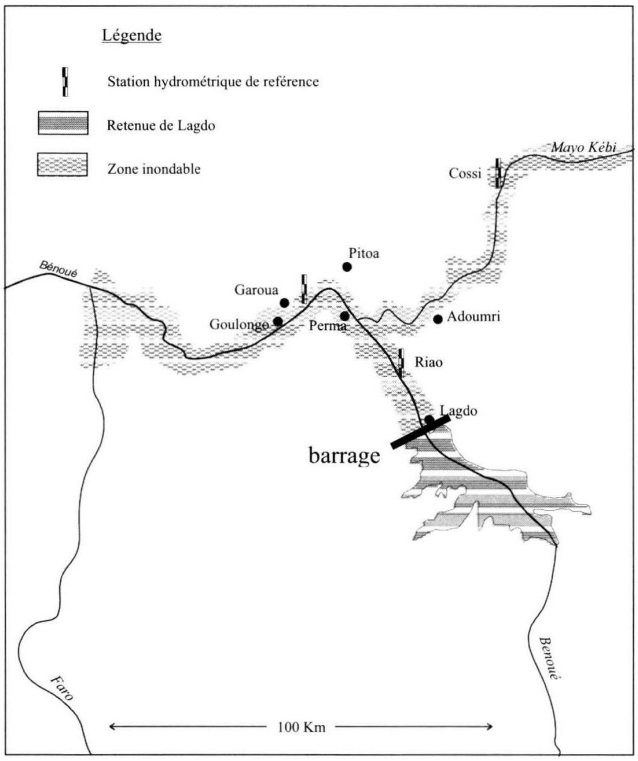


Figure 2. Localisation de la retenue de Lagdo et des zones inondables.

9 Avec une pluviométrie annuelle de 1 000 à 1 200 mm, la capacité de charge de la savane est élevée et assure du fourrage au bétail pendant une assez longue période de l'année. Les berges du fleuve Bénoué représentent les principales surfaces de compensation pour la perte des ressources fourragères de la région. Ainsi ces plaines jouent un rôle indispensable à la survie de l'élevage nomade et semi-nomade dans la région en fournissant des pâturages au cours de la saison sèche.

Rôles du barrage de Lagdo

Production d'électricité et amélioration de la navigabilité

10 Le barrage de Lagdo a pour vocation principale la production d'énergie électrique. Pour un fonctionnement interannuel moyen de 4 470 heures, la productivité annuelle moyenne est de 291 Gwh an^{-1}. Ce potentiel hydroélectrique est suffisant pour desservir l'ensemble du Nord-Cameroun et exporter probablement une quantité d'électricité vers les pays voisins. Grâce aux lâchers d'eau du barrage qui sont étalées sur toute l'année pour permettre la génération continue d'électricité (en supprimant néanmoins les crues), la Bénoué, qui était caractérisée par des déficits saisonniers (elle tarissait souvent complètement en avril ou en mai), ne sera plus à sec, sauf en cas de sécheresse exceptionnelle ou persistante (cas de la sécheresse de 1997). La disponibilité en eau est maintenant garantie pendant toute l'année.

11 Depuis 1950, le problème de l'amélioration de la navigabilité de la Bénoué s'est posé. D'après Olivry (1986), les études avaient montré que la navigation entre le confluent du Faro et Garoua était possible pour un tirant d'eau de 1,35 m (débit de 400 $m^3\ s^{-1}$) tandis que plus en aval la navigation n'était possible au seuil d'Ouro-Boki (Nigeria) que pour un

débit de 1 000 m^3 s^{-1}. La régularisation par le barrage de Lagdo devrait permettre de garantir la navigation pendant 140 jours.

Développement de l'agriculture

12 La politique agricole s'est orientée vers la culture irriguée afin de diversifier la production agricole en introduisant le riz et la canne à sucre. Pour alimenter en eau les irrigations, deux prises d'eau ont été prévues de part et d'autre de la Bénoué. Le potentiel total de ces deux prises permet la mise en valeur de 13 000 ha irrigués. Le canal principal de la rive droite a une capacité de 14 m^3 s^{-1} tandis que celui de la rive gauche est de 9 m^3 s^{-1}. La modernisation de l'agriculture a permis de diffuser des techniques agricoles améliorées et d'obtenir des bons rendements. Par exemple, les rendements moyens du paddy dans les parcelles aménagées sont pratiquement les mêmes en saison des pluies qu'en saison sèche (3,5 t ha^{-1}). Par ailleurs, grâce à la submersion contrôlée, l'eau est disponible toute l'année, on peut donc pratiquer deux cultures par an sur une même parcelle. Ainsi, la sécurité alimentaire peut être étalée sur une plus longue période. Enfin, les cultures maraîchères (tomates, laitues, carottes, légumes locaux, melons, courgettes...) ont également pris une extension très importante. Elles ont été stimulées par la forte demande des grandes villes (Garoua, Maroua et Ngaoundéré). La culture de mouskouari a été redynamisée avec l'afflux de migrants. Sa production représente 30 % de la production des céréales.

Développement de la pêche

13 Le développement de la pêche dans la retenue de Lagdo correspond à un processus spontané dès la mise en eau du barrage. En quelques années, la ressource halieutique abondante et la crise écologique (sécheresse) dont souffrent d'autres bassins, ont attiré sur les rives de la retenue une population importante de pêcheurs de différentes ethnies, provoquant ainsi un flux migratoire en provenance de l'extrême Nord du Cameroun, du Nigeria, du Tchad et, à un degré moindre, du Mali. Cette situation favorable a poussé de nombreux autochtones à se consacrer toujours davantage à la pêche, en l'intégrant aux activités agricoles et/ou d'élevage traditionnelles (Minplat, 1993). Le nombre de pêcheurs est passé de moins de 400 en 1983 à 2 350 en février 1992. Parmi ces pêcheurs, 65 % environ pratiquent l'agriculture. A Lagdo, 63 % des captures sont représentées par la famille de Cichlidae, dont 90 % de *Sarotherodon galilaeus.* La productivité dans la retenue de Lagdo est passée de 157 kg ha^{-1} an^{-1} en 1985 pour une surface totale de 50 000 ha et une densité de 2,4 pêcheurs par km^2 à 205 kg ha^{-1} an^{-1} en 1990 pour une surface totale de 60 000 ha et une densité de 6,4 pêcheurs par km^2.

Évolution des surfaces cultivées et actions secondaires

14 Pendant la période de 1980 à 1991, la population est passée de 53 800 habitants à 205 602 habitants, soit une augmentation de 151 802 habitants. Parallèlement, la superficie cultivée est passée de 15 338 ha en 1980 à 65 752 en 1991 (tableau 2). L'ouverture de terres agricoles a suivi la courbe d'évolution de l'augmentation de la population due aussi bien à l'arrivée et à l'installation des migrants qu'à la croissance naturelle de la population. La croissance démographique a entraîné la mise en culture permanente de certaines parcelles autrefois cultivées pour l'autoconsommation en jachères longues. Tout ceci a eu

pour conséquence l'élargissement du marché de l'emploi. L'aménagement de la vallée de la Bénoué a également créé toutes sortes d'activités secondaires, comme les constructions de la route Garoua-Lagdo, du pont sur le mayo Kébi, des écoles, des infrastructures sanitaires, des usines... Grâce aux infrastructures économiques et sociales réalisées, les habitants ont atteint un niveau de vie souvent de loin supérieur à celui connu dans leur zone d'origine.

Tableau 2. Évolution des superficies globales cultivées (en hectares) et de la population (d'après Minplat, 1993).

Cultures (ha)	1980/81	1983/84	1987/88	1990/91
Sorgho	7 742	14 284	18 821	15 502
Mouskouari	2 011	5 130	5 490	10 097
Arachide	1 925	5 241	8 294	8 182
Maïs	830	1 230	7 656	15 331
Coton	2 830	11 251	18 502	16 640
Superficie totale cultivée (ha)	*15 338*	*37 136*	*58 763*	*65 752*
Populations (hab.)	*53 800*	*116 175*	*161 605*	*205 602*

Impact du barrage de Lagdo sur les ressources naturelles

Incidences sur les écoulements

15 La création du barrage de Lagdo s'est traduite par la transformation du fleuve Bénoué en amont de Lagdo en une retenue artificielle. En aval du barrage, le régime de la Bénoué a été radicalement modifié, ce qui se traduit par :

- la suppression des crues ;
- la diminution de l'étendue des zones inondables : la surface inondable est passée de 1 000 km à environ 670 km, ce qui représente une perte de l'ordre de 33 %, soit 33 000 ha de terres de cultures perdues ;
- l'assèchement de nombreuses cuvettes naturelles submersibles favorables à la culture traditionnelle de mouskouari ;
- la baisse du plan d'eau qui laisse à découvert de grandes surfaces vaseuses ;
- la diminution du transport solide dans les eaux.

Incidences sur la culture du mouskouari

16 Dès la mise en eau de la retenue de Lagdo en 1982, la suppression des crues qui rendaient possible, à la décrue, la culture de mouskouari (sorghos repiqués sur les vertisols), base de l'alimentation traditionnelle locale, a suscité la plainte des paysans.

17 Afin de permettre à la population de la région de cultiver le mouskouari comme elle pouvait le faire traditionnellement avant la construction du barrage de Lagdo, le

gouvernement camerounais a financé la construction à Garoua, Pitoa, Guebake et Langui Bé, d'une série de digues ayant pour but de reconstituer artificiellement les inondations de la Bénoué. Ces digues qui ont été dimensionnées de manière à pouvoir contenir et évacuer des crues correspondant à une pluie cinquantenaire permettent de retenir les eaux des bassins versant latéraux (et non les eaux de la Bénoué) et de sauvegarder près de 5 240 ha de vastes dépressions représentant les meilleures terres à mouskouari. Malgré l'importance de ces digues, leurs constructions ont également entraîné la perte de quelques terres de cultures.

Incidences sur la forêt, le pâturage et les sols

18 Dans le bassin de la Bénoué, la forêt fournit du bois d'œuvre pour les constructions et du bois de chauffe pour les ménages. Les besoins en bois de chauffe encouragent les populations démunies de ressources à couper le bois pour le commercialiser. La dégradation du milieu naturel est donc accentuée par la déforestation presque intégrale de la région et l'augmentation du braconnage. D'après Scholte (2000), le braconnage réduit la taille des cheptels, l'anthropisation de leurs parcours de migration traditionnels désoriente les animaux et occasionne une divagation peu compatible avec les activités agricoles. Par ailleurs, l'élevage transhumant et l'influence des feux de brousse tardifs contribuent à dénuder le sol. L'épuisement des sols est en outre favorisé par les méthodes culturales pratiquées consistant à déboiser le terroir, le cultiver jusqu'à épuisement et recommencer le processus sur une terre vierge. La terre abandonnée reste dénudée et soumise à l'érosion (Minplat, 1993).

19 L'augmentation de la population et des zones cultivées s'est traduite par une diminution des surfaces de pâturage (14 000 ha), une dégradation poussée des terres à vocations agricoles dans le périmètre immédiat de la ville de Garoua, l'accroissement sensible de tension entre agriculteurs et éleveurs... En effet, il y a actuellement plus de 200 000 têtes de bétail sur une surface pastorale estimée à 924 000 ha, ce qui donne une charge de 4,6 ha par tête au lieu des 7 ha communément admis comme norme sur ce genre de terrain (Minplat, 1993).

20 En aval de Garoua, la Bénoué a un lit relativement étroit et profond. Elle trace des méandres réguliers qui provoquent une érosion latérale intense des berges argilo-sableuses. Les alluvions apportées autrefois lors des crues, élément clef de la conservation des sols exploités intensivement et continuellement ont quasiment disparu depuis la construction du barrage. De plus, la réduction de la teneur en boue du fleuve modifie l'équilibre alluvionnaire des plaines inondables et se traduit finalement par une diminution de la fertilité des sols.

Effets des fortes crues et des sécheresses

21 Le bassin de la Bénoué est marqué par une alternance de périodes humides et de périodes sèches. La période de cette alternance est peu variable : de l'ordre de 10 ans en moyenne.

22 En 1988, on a assisté pour la première fois au remplissage de la retenue jusqu'à la cote 216 m. La crue maximale enregistrée à Garoua était de 1 946 $m^3 s^{-1}$. Le barrage par ses lâchers intempestifs associés aux crues des bassins intermédiaires et le mayo Kébi ont constitué une grave menace pour les infrastructures mises en aval. D'après Consultants Associés (1997), trois catégories de dégâts dont le coût de réparation s'est élevé à 200 millions de F

CFA, ont été observées : brèches sur les digues (départ complet d'un tronçon de digue), griffes d'érosion régressive du parement aval dues à la dissipation d'énergie du ressaut, destruction de la protection en enrochement.

23 A l'opposé, en 1997, la pluviométrie a été très faible dans l'ensemble du bassin (moins de 1 000 mm). Le niveau de la retenue a tellement baissé que la distribution d'électricité a été réduite. Accessoirement à cette réduction, de vastes étendues de terres fertiles sont demeurées hors de l'eau pendant plusieurs mois. Seules les parties les plus basses de la vallée ont été inondées. Le calendrier agricole et les transhumances ont été affectés. La sécheresse a donc réduit la productivité fourragère et les activités pastorales. De nombreux pasteurs ont nomadisé sur de longues distances pour nourrir leur bétail. Ceci a entraîné le surpâturage de certaines zones et la surcharge générale en ruminants. Les systèmes de cultures de décrue ont été déstabilisés. Certaines cultures se sont soldées par des échecs. Les captures de poisson ont été maigres et les revenus tirés de la pêche ont diminué. Il y a eu une augmentation du taux de mortalité animale.

Effets secondaires

Incidences sanitaires

24 La création d'une grande étendue d'eau stagnante a favorisé la reproduction de moustiques et d'autres vecteurs de maladies (onchocercose, amibiase, paludisme, ...). Le paludisme reste endémique et présente le plus grand taux de morbidité, surtout chez les enfants de 0 à 5 ans. La bilharziose à *Schistosoma haematobium* se manifeste le long des cours d'eau et des marres. Les enfants qui jouent dans les eaux contaminées sont généralement les plus exposés. L'onchocercose est maintenant fréquente dans les eaux situées en amont de la retenue.

25 La forte densité de la population à Djipordé, le seul point habité en bordure de la retenue de Lagdo où les activités artisanales et commerciales (poissons) sont très développées, pose le problème des conditions hygiéniques et sanitaires. A Djipordé, le manque d'eau potable et l'inexistence de latrines, de canaux de drainage des eaux, de systèmes de ramassage des ordures, ainsi que de tout autre service nécessaire à la cohabitation de milliers de personnes (de 8 000 à 10 000 habitants) en un espace si restreint, provoque régulièrement de graves problèmes sanitaires (épidémies de choléra, ...). En effet, au bord du barrage, la même eau est utilisée sans distinction d'aucune sorte, pour tous les types d'activités ou de nécessités humaines. Par ailleurs, les nombreuses habitations, construites en paille et en boue séchée, entassées les unes sur les autres sont en permanence exposées aux risques d'incendies. Le non respect du calendrier agricole par les paysans et le non suivi des normes d'irrigation entraînent des effets négatifs sur les infrastructures existantes et sur la qualité des eaux. En effet, l'utilisation de l'engrais minéral pour la culture du riz, du coton et du maïs constitue une menace considérable sur la qualité de l'eau et par conséquent sur la santé humaine. Enfin, les populations migrantes sont surtout attachées aux petits ruminants qui sont malheureusement soumis à des épidémies dévastatrices. Les glossines devraient constituer à brève échéance une contrainte grave de l'élevage dans la zone.

Effets résultant de la conception des ouvrages

26 Les parcs de Benoué et de Bouba-Ndjida représentent pour la région un facteur essentiel de la conservation de la flore, de la faune et des processus écologiques originels ainsi que du développement du tourisme. En amont de la retenue de Lagdo, les aménagements entravent la migration de la faune sauvage qui avait coutume de longer les rives boisées du fleuve situées entre le parc de Benoué et le parc de Bouba-Ndjida. La construction du barrage entrave également la migration saisonnière des poissons vers les plaines inondables. La construction des digues en aval du barrage a détruit certaines frayères indispensables à la survie des poissons qui peuplent les plaines alluviales de la Bénoué.

Stratégies de développement des plaines inondables

27 La diversité des fonctions du barrage de Lagdo exige l'adoption d'actions diverses pour une gestion coordonnée des ressources naturelles. Comment faire pour promouvoir l'agriculture, l'élevage et la pêche, améliorer la navigation, éviter les conflits d'usage, établir un équilibre naturel entre le barrage et son environnement sans toutefois pénaliser la distribution d'énergie électrique ?

28 Pendant la construction du barrage, le gouvernement camerounais a créé à Garoua la « Mission d'étude et d'aménagement de la vallée supérieure de la Benoué » (MEAVSB). Cette mission avait en charge la formation des paysans dans les techniques agricoles, la préparation des terres, l'octroi des crédits d'intrants (semence, engrais, pesticides), la maintenance des ouvrages... Les moyens institutionnels et organisationnels mis en place par l'Etat camerounais à travers la MEAVSB montre bien que les pouvoirs publics sont favorables à la gestion intégrée des ressources naturelles dans le bassin de la Bénoué. Malheureusement la crise économique persistante oblige l'Etat à se désengager de ces fonctions. Ainsi le succès de la gestion intégrée des ressources naturelles dans les zones inondables de la Bénoué est un défi à relever plutôt qu'une recette à appliquer. Le défi consiste à tenir compte de plusieurs contraintes : sociales, culturelles, techniques, économiques, naturelles ...

Contraintes socioculturelles

29 Selon Vincke (2000), la gestion foncière est l'expression formelle de l'organisation et de la gestion de l'espace et des activités humaines. Les contraintes sociales dépendent des attributions des parcelles et de la gestion de ces attributions par les chefs coutumiers. Dans le nord Cameroun en général, et le bassin de la Bénoué en particulier, l'une des plus grave contrainte à la gestion des ressources naturelles est liée à l'absence de régime foncier qui garantit l'accès et l'utilisation des terres. En effet, l'absence de statut de propriété – voire même de statut d'usufruit codifié et institutionnalisé – n'encourage par les migrants à s'investir dans les terrains mis à leur disposition. On constate plutôt une tendance très générale au débordement des pratiques ancestrales. Malheureusement, le système foncier traditionnel est remis en cause par les populations de plus en plus nombreuses, qui ont besoin d'obtenir des superficies de plus en plus considérables pour leur survie. Par ailleurs, la grande diversité de langues et de cultures ethniques (plus de 50 ethnies) rassemblées autour de la retenue de Lagdo représente un obstacle au développement.

30 Pour résoudre les nombreux conflits fonciers, l'Etat devrait donc penser à une législation, base d'une gestion rationnelle de l'espace rurale et du règlement des tensions entre agriculteurs et éleveurs. L'exemple de la localité de Naari, où la commission de gestion des ressources naturelles constituée essentiellement de Mbororos a procédé au bornage des pistes à bétail et, qui a permis de délimiter des zones à vocation agricole et à vocation pastorale, est à suivre.

Conversion à l'agriculture irriguée

31 La pratique de l'irrigation nécessite la mécanisation de nombreuses opérations culturales (labour, hersage, enfouissement de l'engrais et de résidus organiques). Le coût élevé de l'irrigation commande le développement de l'agriculture irriguée à petite échelle plus facile à gérer et à contrôler. En effet, les populations pauvres des milieux ruraux accueillent rarement avec enthousiasme le transfert de technologie. L'expérience des petits périmètres irrigués dans le bassin du fleuve Sénégal (Seck, 1986) a montré la capacité d'adaptation des populations et la nécessité d'intégrer la dimension humaine et sociale comme composante à part entière du développement hydroagricole du bassin. Il est évident qu'avec la croissance démographique rapide, l'évolution vers une agriculture plus intensive et irriguée semble inévitable. Pour y faire face, il faudrait insérer l'irrigation dans l'activité des paysans. Par ailleurs, l'encadrement des paysans demeure nécessaire pour améliorer leurs connaissances sur les techniques de certaines cultures comme le riz. Cet encadrement peut se faire à travers des séminaires et des stages dans les régions productrices de riz et par la mise en place d'une structure légère composée d'animateurs qu'on pourrait même choisir parmi les paysans les plus doués.

32 Il y a peu d'espoir de parvenir à une gestion durable des ressources naturelles dans la vallée de la Bénoué tant que l'attribution des parcelles n'est pas transparente et le paysannat structuré, formé et organisé dans la perspective de l'associer à la gestion du périmètre ou de lui permettre de proposer un plan de mise en œuvre. En effet, on ne pourra convaincre les populations de respecter les richesses des plaines inondables que si l'on sait leur proposer des modes d'exploitation de ces zones, qui répondent à leurs besoins (Acreman et Pirot, 2000) ; car ceux-ci connaissent le milieu et les revenus qu'ils peuvent en tirer. Ils savent ce qu'il faut faire pour conserver ces avantages.

Conservation des forêts, maintien de l'activité halieutique et intensification de l'élevage

33 Le rythme de consommation en bois dépasse en général le rythme de régénération de la matière ligneuse. On constate que la sensibilisation et l'éducation des populations ainsi que la distribution des plantules forestières (opération « Sahel vert ») ont été sans succès. Les mesures visant à freiner et à compenser partiellement la dégradation des forêts doivent accorder la priorité à des programmes concertés qui portent aussi bien sur le reboisement, l'exploitation forestière rationalisée et les économies d'énergie que sur l'utilisation de nouvelles sources énergétiques (gaz et pétrole). A cette fin, la promotion par l'Etat des plants fruitiers (manguiers, goyaviers...) a suscité plus d'espoir. Mais cette action peut-elle réussir le rééquilibrage effectif entre le taux annuel des abattages et le taux de croissance de la forêt ?

34 A Lagdo, la forte croissance de la population de pêcheurs risque de se traduire à terme par une surexploitation de la ressource halieutique. En effet, les différentes capacités de captures observées d'un groupe à l'autre dépendent essentiellement de la possibilité d'investissement en moyens et équipements, de la tradition et habilité de chaque ethnie, ainsi que de l'exercice des activités à plein temps ou seulement à temps partiel. En attendant une réglementation en matière de pêche à Lagdo, la limitation de la taille minimale autorisée des poissons pêchés doit être en avant garde des actions de maintien de l'activité halieutique.

35 Enfin, l'intensification de l'élevage nécessite d'après Minplat (1993) la mise en place d'un service vétérinaire, en même temps que le développement d'actions en faveur de l'élevage des petits ruminants et des volailles qui représentent une part non négligeable de l'apport en protéines animales de la population de la région. Par ailleurs, la sensibilisation des éleveurs à la gestion et à l'exploitation optimale des potentialités des troupeaux en améliorant leur composition par classe d'âges et de sexes, et la poursuite des essais de cultures associées (légumineuses fourragères / cultures vivrières ; jachères améliorées ; production dans les petites dépressions inondées en permanence de bourgou à *Echinochloa pyramidalis* avec éventuellement introduction d'*E. stagnina* qui a une valeur alimentaire supérieure), comme complément fourrager pour la saison sèche constituent aussi une voie vers le développement de l'élevage.

Contraintes de gestion des lâchers du barrage

36 Après la modification de l'écoulement liée à la construction du barrage, le régime hydrologique de la Bénoué à Garoua (en aval de la confluence avec le mayo Kébi) est désormais influencé par les apports de quatre composantes : le débit des lâchers ; le débit turbiné (il existe quatre turbines dont le débit unitaire est de 109 $m^3 s^{-1}$), le débit du mayo Kébi et le débit des bassins versants latéraux. Les digues pour mouskouari exigent des débits de la Bénoué à Garoua inférieurs à 1 000 $m^3 s^{-1}$. Or l'évacuateur principal des crues du barrage a une capacité de 3 000 $m^3 s^{-1}$, correspondant approximativement au débit de crue de la Bénoué. Alors comment gérer les lâchers de manière à limiter les dommages en aval du barrage ?

37 Le modèle de gestion chinois qui propose le remplissage préalable du barrage et la vidange brutale en cas de forte crue (2 600 $m^3 s^{-1}$ pour une crue décennale) n'est pas acceptable en raison des exigences des digues pour mouskouari. Le modèle de propagation des crues de la Bénoué proposé par Sogréah (*in* Consultants Associés, 1997) en vue d'assurer la protection des infrastructures mises en aval, indique que pour un débit lâché de 2 000 $m^3 s^{-1}$ par le barrage au moment où le mayo Kébi a une crue de 100 $m^3 s^{-1}$, la cote du plan d'eau à Garoua est de 180 m, la digue de Garoua étant arasée à la cote 179, elle sera submergée sur une hauteur de 1 m ; de plus, si pendant ce temps le mayo Kébi entrait aussi en crue, la submersion serait encore plus prononcée. La Société nationale d'électricité (Sonel) n'est pas favorable à ce modèle qui ne maximise pas le remplissage du barrage en période de sécheresse. Le modèle *Lagdyn1* (développé par la Sonel) est proche du modèle chinois ; il se base sur une probabilité maximale de remplissage du barrage en prévision d'une période de sécheresse. Il implique des lâchers importants en cas de fortes crues au moment où le barrage est déjà plein. Ce modèle dont l'objectif principal est la production continue d'énergie électrique, donne pleine

satisfaction à la Sonel qui tient à disposer d'un volume d'eau permettant d'éviter le recours à la coûteuse production d'énergie thermique.

38 Pour résoudre les problèmes de lâchers de Lagdo, une intervention de l'Etat doit donc être menée pour accorder les contraintes de gestion du barrage par la Sonel. De plus, pour éviter que les fortes crues du mayo Kébi ne coïncident avec les lâchers du barrage, le gestionnaire du barrage doit avoir une information sur les crues de ce cours d'eau. Par ailleurs, aucun modèle n'ayant à ce jour donné pleine satisfaction, surtout en ce qui concerne la protection des aménagements en aval du barrage, la nécessité de la reprise du programme de recherche hydrologique abandonné depuis plus d'une décennie dans le bassin de la Bénoué s'impose d'elle-même. Car seule la bonne gestion de l'eau permet de recréer des conditions proches des conditions naturelles de fonctionnement de l'écosystème (Vincke, 2000).

Conclusion et perspectives

39 Ce travail montre que lorsque les projets d'aménagement hydraulique, qui constituent des potentialités réelles de développement, ne sont pas assortis d'un ensemble de mesures visant à la protection des ressources naturelles, de nombreux problèmes écologiques peuvent apparaître. Ces problèmes se situent au niveau de la mauvaise gestion des eaux, de la surexploitation des forêts, des pâturages et des ressources piscicoles et de la disparition des biotopes naturels. Dans les plaines d'inondation de la Bénoué, le bétail, les cultures, la faune sauvage, la flore, les sols ont été directement touchés par la diminution de l'ampleur et de la durée des inondations. La construction du barrage de Lagdo a provoqué un mouvement de population important vers les zones inondables pour s'établir de façon permanente. Ce grand mouvement de population augmente les risques de contamination et de dégradation du milieu. Les périodes sèches mettent l'élevage, la pêche et la distribution d'énergie en situation précaire. Les lâchers de la retenue lorsqu'elles ne prennent pas en compte les crues du mayo Kébi, demeurent une grave menace pour la stabilité des infrastructures en aval du barrage. La valeur économique de la culture de mouskouari a favorisé la construction des digues submersibles et la sauvegarde de 5 240 ha de terres en rive droite de la Bénoué entre Langui-Bé et Garoua. L'utilisation des déchets provenant de l'agriculture irriguée permet d'atténuer la perte des ressources en pâturage des plaines inondables.

40 Une bonne gestion des plaines inondables de la Bénoué commande que d'autres actions soient entreprises. Il s'agit notamment : d'harmoniser l'exploitation du barrage avec la situation créée par une conversion modérée à l'agriculture moderne – car les systèmes de production traditionnels ont tendance à disparaître devant l'introduction de nouvelles technologies (cultures irriguées) –, de prendre des mesures pour contrecarrer les effets néfastes de l'expansion considérable des habitats favorables aux insectes et à la faune aquatique nuisibles, de délimiter les terres pouvant être cultivées et les terres convenant aux pâturages, et de définir les interventions pour une meilleure utilisation des terres du lit majeur et des terrasses de la Bénoué et du mayo Kébi, de réhabiliter le réseau hydrométrique et enfin de mettre en place un programme de collecte des données hydrologiques nécessaires à l'élaboration d'un modèle de gestion du barrage de Lagdo qui soit acceptable par les usagers du barrage et les aménagements. Promouvoir la collaboration interinstitutionnelle et créer un comité de concertation sont aussi des facteurs conditionnant le bon processus de développement intégré du barrage de Lagdo.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Acreman M., Pirot J. Y., 2000 – « Lignes directives ». *In* Gepis (éd.) : 1-4.

Chamard P. C, Courel M. F., Adésir-Schilling M., Diakité C. H., 1997 – L'inondation des plaines du delta intérieur du Niger (Mali). Tentatives de contrôle : la réalité et les risques. *Sécheresse,* 8 (3) : 151-156.

Consultants Associés, 1997 – *Les aménagements hydroagricoles dans la vallée supérieure de la Bénoué. Analyse dignostic.* Rapport provisoire, MINAT/MEAVSB/FED.

Dejoux C, 1988 – *La pollution des eaux continentales. Expérience acquise situation actuelle et perspectives.* Paris, Orstom, coll. Trav. et Doc, 213, 513 p.

Gepis, collectif, 2000 – *Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes.* Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, UICN, 214 p.

Kassah A., 1994 – Aménagement hydraulique, irrigation et développement régional en Tunisie. *Sécheresse,* 5(2) : 151-156.

Minplat, 1993 – *Evaluation du programme de développement rural dans le bassin de la Bénoué.* Rapport définitif, Projet 6 ACP CM012.

Naah E., 1981 – *Profil de la Bénoué en aval de Lagdo.* Rapport définitif DGRST-CRH, 57 p.

Oberlin G., Gautier J. N., Chaston B., Farissier P., Givone P., 1993 – Une méthode globale pour la gestion des zones inondables : le programme « inondabilité » du Cemagref. *Sécheresse,* 4 (3) : 171-176.

Olivry J.-C, 1986 – *Fleuves et rivières du Cameroun.* Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 9, 733 p.

Ouadba J. M., 2000 – « Description de l'environnement physique ». *In* Gepis (éd.) : 45-47.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées, l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

Sally L, 2000 – « Études d'impact sur l'environnement ». *In* Gepis (éd.) : 32-35.

Scholte P., 2000 – « Ressources en espèces sauvages ». *In* Gepis (éd.) : 50-53.

Seck S. M., 1986 – Des grands périmètres aux périmètres intermédiaires : prise en compte des acteurs sociaux dans les aménagements hydroagricoles. Les cas de Boghé et Mdombo-Thiago dans la vallée du Sénégal. *Cahiers de la Recherche Développement,* Cirad, 12 : 35-44.

Tchoué G., 1983 – *Propagation de l'onde de crue de la Bénoué en aval de Lagdo.* Rapport DGRST-CRH, Yaoundé, Cameroun, 174 p.

Vincke P. P., 2000 – « Planification et gestion intégrée ». *In* Gepis (éd.) : 21-24.

AUTEURS

BENJAMIN NGOUNOU NGATCHA

Géographe. Université de Ngaoundéré, dép. Se. de la Terre, BP 454, Ngaoundéré, Cameroun,

ROGER NJITCHOUA

Géographe. Université d'Orsay, lab. d'hydrologie et de géochimie isotopique, 91405 Orsay, France,

EMMANUEL NAAH

Hydrologue. Unesco, Bureau régional Afrique, BP 30592, Nairobi, Kenya,

Crues artificielles et cogestion

La réhabilitation des plaines inondables au Sahel : le Wazasss Logone (Cameroun) et le bas-delta du Sénégal (Mauritanie)

Olivier Hamerlynck, Brahim Ould Messaoud, Richard Braund, Cheikh Hamallah Diagana, Yelli Diawara et Daniel Ngantou

1 De plus en plus de fleuves africains sont équipés de grands barrages pour des projets sectoriels agricoles ou de génération d'hydroélectricité. Souvent conçus sans études d'impacts sur l'environnement, ils manquent d'équipements hydrauliques permettant de créer des crues artificielles, pourtant essentielles pour la préservation de la structure et les fonctions des écosystèmes situés à l'aval (World commission on dams, 2000). Un exemple est le barrage de Kariba entre la Zambie et le Zimbabwe sur le Zambèze qui n'est équipé que d'un évacuateur de trop plein pour protéger le barrage lors des crues exceptionnelles (Scudder et Acreman, 1996). Certains barrages ont la possibilité de créer des crues artificielles mais, pour des raisons économiques, celles-ci ne sont pas pratiquées selon un calendrier et une amplitude écologiquement favorables, par exemple Cahora Bassa en Mozambique (Beilfuss et Davies, 1999). Malheureusement aussi, et ce en dépit d'investissements massifs depuis des décennies, il y a toujours peu de grands aménagements hydroagricoles en Afrique qui ont prouvé leur rentabilité économique et surtout leur durabilité écologique. Les impacts négatifs sont en revanche considérables (Adams, 1996). Souvent la perte des valeurs écologiques et économiques des écosystèmes humides à l'aval des grandes infrastructures hydrauliques est causée par une méconnaissance et une perception erronée de la performance et durabilité des systèmes d'exploitation traditionnels (Cowan, 1999).

2 Suite au succès de l'expérience de la plaine inondable du Phongolo en Afrique du Sud depuis 1984 (Bruwer *et al.*, 1996), de plus en plus les crues artificielles sont recommandées, non seulement pour la conservation de la biodiversité et la productivité des écosystèmes mais aussi comme un outil de développement, notamment dans les plaines inondables africaines (Acreman, 1994). Effectivement, à plusieurs endroits il a été prouvé que le maintien de crues – permettant aux communautés à l'aval de poursuivre leurs systèmes d'exploitation traditionnels (agriculture de décrue, pêche, élevage, cueillette) et de perpétuer les fonctions hydrologiques de ces plaines (recharge des nappes phréatiques, cycles de l'azote, etc.) – n'est pas seulement favorable à la

conservation de la structure et des fonctions des écosystèmes et à la conservation de la biodiversité, mais est aussi une option économiquement rentable, surtout dans des zones où l'eau est une ressource limitée (Barbier *et al.*, 1991). Les crues artificielles font actuellement partie intégrante des lignes directrices pour la gestion de l'eau de la Banque mondiale (Acreman, sous-presse).

3 Expériences encore rares en Afrique sahélienne, cet article traite de deux études de cas de réhabilitation de plaines inondables par des crues artificielles, pratiquées l'une au Cameroun dans la plaine du fleuve Logone, l'autre en Mauritanie dans le delta du fleuve Sénégal. Comme pour la plupart des fleuves sahéliens, les plaines inondables des fleuves Logone et Sénégal, du moins avant les crues relativement faibles des années 70 et 80 et les efforts de régularisation des crues par des infrastructures hydrauliques, jouaient un rôle social, économique et écologique fondamental pour une vaste région. Les crues annuelles permettaient à des centaines de milliers de personnes d'y pratiquer la pêche, l'élevage, l'agriculture de décrue, la cueillette et la chasse selon un calendrier déterminé essentiellement par le niveau d'eau dans les plaines. Des descriptions plus détaillées de ces deux expériences en cogestion peuvent être trouvées pour le Waza Logone dans Wesseling *et al.* (1996), Ngantou et Kouokam (2000) et Braund (2000), et pour le bas-delta mauritanien dans Hamerlynck (1999), Hamerlynck *et al.* (1999 a) et Duvail (2000 et ce volume[1]). L'accent est mis sur l'approche similaire des deux projets et sur les leçons à tirer de la comparaison de leurs résultats préliminaires.

Présentation des zones d'étude

Waza-Logone

4 Le fleuve Logone prend ses sources dans les hautes terres du moyen Cameroun et du Sud du Tchad. Il se dirige vers le nord et se jette dans le lac Tchad. Sa grande plaine inondable couvre environ 11 000 km^2 dans la partie sahélienne du Cameroun, du Nigeria et du Tchad (fig. 1). Le Logone est un fleuve typiquement sahélien avec un débit moyen de 500 $m^3 s^{-1}$ et de fortes fluctuations saisonnières, de moins de 100 $m^3 s^{-1}$ en saison sèche à plus de 1 800 $m^3 s^{-1}$ en crue (Naah, 1993). Il fait partie des fleuves sous l'autorité de la Commission du bassin du lac Tchad. En 1979, un barrage et des digues de crues ont été construits en rive droite du fleuve Logone, créant ainsi le lac Maga de 400 km^2. Cette retenue devait alimenter un projet de riziculture irriguée connu sous le nom de Semry (Société d'expansion et de modernisation de la riziculture de Yagoua) sur 105 km^2. Depuis l'aménagement de ces infrastructures, dont le coût est inconnu, une trentaine de km^2 sont cultivées annuellement, dont la moitié en double rotation.

5 La plaine inondable du Logone renferme deux parcs nationaux, le Kalamoué (45 km^2) et le Waza (1 700 km^2). Ce dernier bénéficie en plus d'un statut de réserve de biosphère. Ces aires protégées abritent des concentrations de grands mammifères (éléphants, girafes, plusieurs espèces d'antilopes) devenus très rares à cette latitude, et les plaines sont d'une importance internationale pour les oiseaux d'eau (Wesseling *et al.*, 1996). Il est estimé que la plaine inondable du Logone fournissait un moyen d'existence à plus de 100 000 personnes (Braund, 2000).

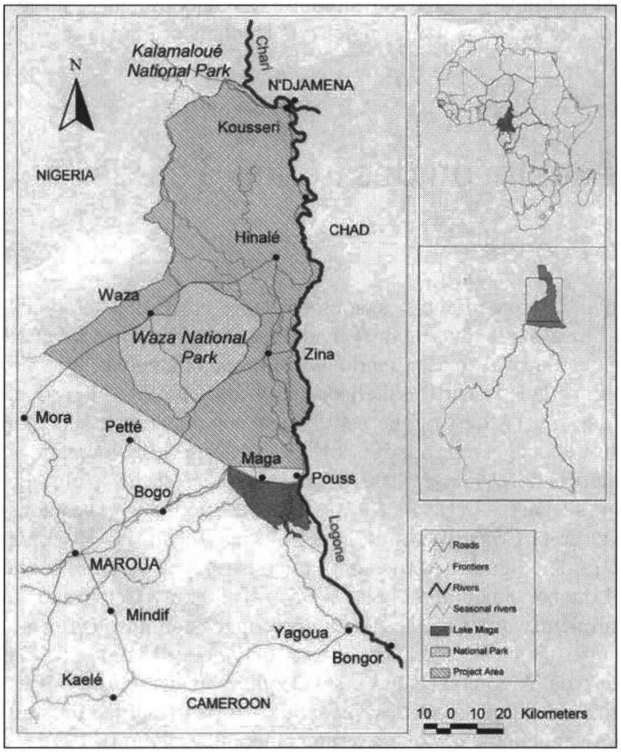


Figure 1. Plaine inondable du Logone dans le Nord-Cameroun.

Bas-delta mauritanien

6 Le fleuve Sénégal prend ses sources dans le massif du Fouta Djalon en Guinée. Son bassin versant couvre 300 000 km^2 répartis entre la Guinée, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal (fig. 2). En année de crue moyenne, ses plaines inondables couvrent près de 5 000 km^2 essentiellement au Sénégal et en Mauritanie. Il se jette dans l'océan Atlantique au sud de la ville de Saint-Louis du Sénégal. Son débit moyen est de 700 m^3 s^{-1} avec des fluctuations saisonnières extrêmes (de moins de 10 m^3 s^{-1} en mai à plus de 4 000 m^3 s^{-1} en septembre) et des variations interannuelle importantes (de 220 à 1 300 m s^{-1}). Une autorité de bassin, qui malheureusement n'intègre pas la Guinée, l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS), a été créée en 1972.

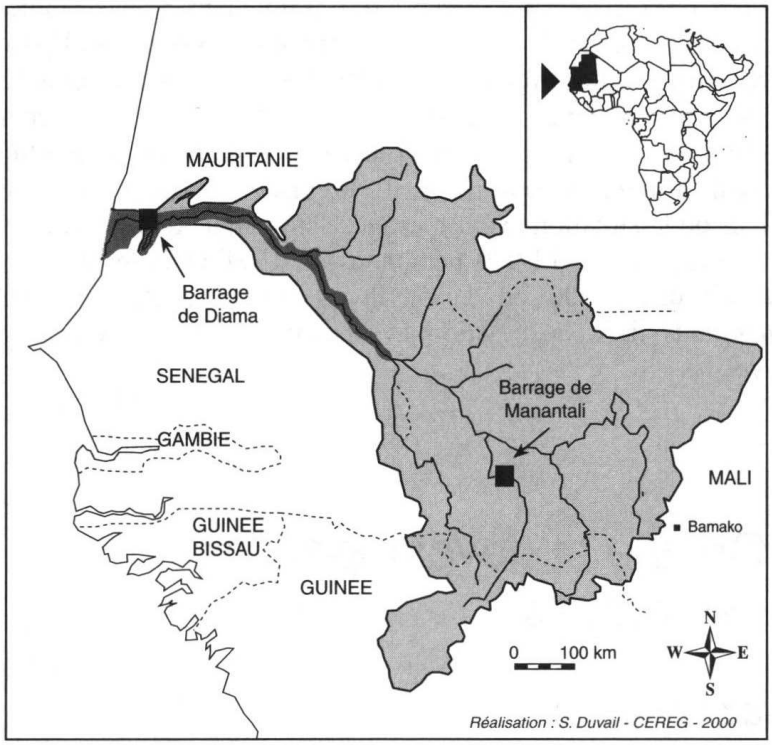


Figure 2. Plaines inondables du bas-delta du fleuve Sénégal, en rive mauritanienne.

7 Deux grands barrages, affectant la zone d'étude, ont été construits sous l'égide de l'OMVS pour un coût estimé à 600 millions US$: le barrage-réservoir de Manantali sur le Bafing au Mali (achevé en 1990) et le barrage anti-sel de Diama à proximité de l'embouchure du fleuve (achevé en 1986). Les objectifs étaient l'irrigation de 3 750 km^2 d'anciennes plaines inondables, essentiellement en riz (seulement 600 km^2 cultivés actuellement), la production de 800 GWh d'hydroélectricité (revue à 250 GWh et en début d'exécution), de permettre la navigation fluviale entre Saint-Louis du Sénégal et Ambibédi au Mali (aucun investissement engagé ou en perspective, mis à part l'écluse à Diama).

8 Les résultats restent loin en-dessous des prévisions, et les impacts négatifs sont considérables (Adams, 1999 ; Hamerlynck *et al.*, 1999 b). La création d'une aire protégée de près de 500 km^2 dans le bas-delta avait été proposée comme une priorité du gouvernement de la République Islamique de Mauritanie en 1978. Suite à la pression des éleveurs qui craignaient d'en être exclus, comme c'est le cas dans le « Parc national des oiseaux du Djoudj » (aire protégée limitrophe au Sénégal), sa taille a été revue à la baisse. La réserve était principalement destinée à l'accueil d'importantes concentrations d'oiseaux migrateurs paléarctiques pendant l'hiver septentrional. Il n'existe pas de recensements fiables de la situation avant-barrage. Selon BDPA-Scetagri (1993), il y avait près de 13 000 personnes en 1991 mais le projet n'en trouvait que 6 000 en 1995. Il est probable que le nombre d'habitants dans la situation avant-barrage était nettement plus élevé.

Origine et développement des projets

Waza-Logone

9 Les infrastructures en rive gauche du fleuve Logone empêchent, en année moyenne, l'inondation de près de 1 000 km^2 de la plaine (Braund, 2000). Le projet Semry, dont les résultats ont été décevants, n'avait pas été accompagné d'une étude d'impact et aucune mesure d'atténuation des effets d'assèchement à l'aval n'avait donc été prise. La réduction des superficies inondées et de la durée de l'inondation ont eu pour conséquences : la quasi absence d'eaux de surfaces en saison sèche, l'effondrement de la production halieutique, la suppression des pâturages de soudure, l'abandon de la riziculture traditionnelle, des pertes de biodiversité tant pour les grands mammifères que pour les oiseaux d'eau.

10 En 1988, une étude a défini les grandes lignes d'un programme de réhabilitation de la plaine du Waza-Logone et le projet a été initié en 1992. Sa deuxième phase, entamée en 1995, avait comme objectifs principaux l'amélioration de la qualité de vie des populations à travers l'utilisation durable des ressources naturelles et la conservation à long terme de la biodiversité de la région. La réalisation de ces objectifs était conditionnée par une réhabilitation hydrologique, donc par l'épandage des eaux de crue du Logone sur la plaine. Suite à la modélisation hydrodynamique du bassin du lac Tchad par Mort MacDonald (1993), deux cours d'eau ont été réouverts en coupant la digue rive gauche à l'aval de Semry. Strictement parlant, il n'y a pas encore eu de crue artificielle.

11 Ces épandages pilotes de la crue naturelle ont permis d'inonder quelques 200 km^2 de la plaine asséchée. Le modèle hydrodynamique a été affiné par une étude complémentaire (Mott MacDonald, 1999), ce qui a permis de proposer trois options de réhabilitation (avec des superficies inondées de plus en plus importantes). L'option minimale, correspondant à une crue artificielle de 115 m^3 s^{-1}, ce qui assurerait la récupération de 50 % des superficies dégradées par les infrastructures de Semry, est toujours en attente de financement.

Bas-delta mauritanien

12 En rive droite du fleuve Sénégal, suite à l'étude d'impact des barrages (Gannett F. C. and Carpenter Inc., 1980), le conseil des ministres de l'OMVS avait décidé la création d'un estuaire artificiel, notamment pour atténuer l'effet du barrage de Diama sur les pêcheries et sur la diversité biologique des écosystèmes deltaïques estuariens et côtiers. De ce fait, des infrastructures hydrauliques auraient dû être mises en place avant l'achèvement du barrage de Diama. Néanmoins, les priorités de l'OMVS, de ses bailleurs institutionnels principaux et des services du développement rural étaient ailleurs et la mise en œuvre des ouvrages indispensables à la survie du bas-delta a été fortement retardée, ce qui a eu des conséquences désastreuses sur la diversité biologique et la productivité. Un exode rural massif s'en est suivi (Hamerlynck *et al.*, 1999 a). En 1991, le parc national du Diawling, couvrant finalement 160 km^2 en bordure du fleuve Sénégal, a été créé par décret présidentiel avec comme objectifs : la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles d'un échantillon de l'écosystème du bas-delta, le développement

permanent et harmonieux des activités des populations locales et la coordination des activités pastorales et piscicoles menées sur son territoire.

13 Les travaux d'ingénierie pour la réhabilitation de la plaine ont commencé en 1994 (Hamerlynck et Cazottes, 1998). Pendant les travaux (en 1994 et 1995), les inondations se sont essentiellement faites vers l'aval par des lâchers de Diama à travers l'ouvrage de Bell 1 (5 m^3 s^{-1} Les superficies inondées étaient limitées mais les résultats étaient encourageants tant pour les pêches, la production végétale et les oiseaux migrateurs. La deuxième phase du projet, mettant l'accent sur la mise en œuvre du plan directeur du parc national du Diawling et de sa zone périphérique, a commencé en 1997. Le but en était de restaurer le fonctionnement hydraulique de la plaine inondable et de l'estuaire afin d'assurer la productivité des écosystèmes et de maintenir la biodiversité.

14 Les cotes maximales et les superficies inondées dans les différents bassins ont été progressivement augmentées. Une troisième phase, visant l'intégration de l'ensemble du bas-delta dans une réserve de biosphère a démarré en 2001. La réserve de biosphère incorporera la zone du Chat Tboul de 150 km^2 (dont 70 km^2 de réserve maritime). Gérée par la Marine nationale mauritanienne, le Chat Tboul sera probablement la première désignation en Afrique d'une zone militaire en réserve naturelle. Ce système lagunaire, réhabilité grâce aux crues en provenance des bassins du parc national du Diawling, a été inscrit sur la liste des zones humides d'importance internationale en octobre 2000.

15 Un projet pour la réhabilitation du bassin de Ndiader – au nord-est du parc vers le village de Keur Macène (zone abandonnée par les riziculteurs à cause de la salinité croissante des sols) – et des cuvettes du sud de l'Aftout es Saheli au nord de la réserve du Chat Tboul a été formulé par une équipe pluridisciplinaire en 2000. L'ouvrage de prise d'eau de l'Aftout es Saheli de 60 m^3 s^{-1}qui actuellement n'alimente que quelques périmètres maraîchers, pourrait être utilisé à moindre coût pour cette extension de l'expérience Diawling.

Mise en œuvre

Une approche écosystèmique

16 Les principes de l'approche écosystème ont été développés pour la « Convention de la diversité biologique » à la cinquième réunion de l'organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques. Il s'agit d'une stratégie pour la gestion intégrée des terres, de l'eau et des ressources vivantes tout en promouvant la conservation et l'utilisation durable de façon équitable. Douze principes de l'approche écosystème ont été énoncés et cinq lignes directrices pour leur application élaborées (Unep, 2000). L'accent est mis sur le maintien des fonctions de la biodiversité dans les flux d'énergie et de matières, sur le partage équitable des bénéfices découlant de ces fonctions, sur la nécessité d'appliquer une gestion ajustable et d'agir à l'échelle appropriée tout en visant une décentralisation maximale et de favoriser la coopération intersectorielle. Un guide opérationnel a été élaboré par Pirot *et al.* (2000).

Une planification stratégique et participative

17 Suite au succès de la crue artificielle de 1994 le projet du Waza-Logone a facilité le processus de négociation pour l'élaboration d'accords de cogestion entre les collectivités locales et le parc national de Waza. Ceux-ci ont rendu légaux les activités extractives des

collectivités (pêche, cueillette, apiculture) qui, en contrepartie, augmentent la capacité de surveillance de l'aire protégée. Pour le reste de la plaine inondable, une structure de gestion a été proposée et des accords pour chaque utilisation des ressources naturelles sont négociés et formalisés avec les parties prenantes concernées (Ngantou et Kouokam, 2000). Les rôles des différents acteurs sont répartis comme suit.

18 Les agriculteurs, pêcheurs et éleveurs s'engagent à suivre les consignes des accords et règles de gestion, de protéger les ressources les concernant contre des acteurs externes, de participer à l'identification, la planification et le suivi des activités d'éco-développement et des micro-projets. Les autorités administratives au niveau décisionnel vérifient si les règles de gestion sont appliquées et sont chargées de la résolution des éventuels conflits entre différents accords de gestion. Les autorités municipales sont chargées des plans locaux de développement et doivent assurer que ceux-ci sont compatibles avec les accords de gestion. Les services techniques (agriculture, foresterie, élevage, pêche) renforcent la surveillance de l'exploitation des ressources naturelles et conseillent les collectivités sur des décisions importantes en matière de gestion. Les partenaires de développement et les ONG à vocation conservation / développement facilitent l'élaboration des plans de gestion et la mise en place de structures de cogestion. Les institutions de recherche ont un rôle de conseil sur l'utilisation des ressources naturelles, surtout auprès des aires protégées. Enfin, la para-statale qui gère le projet d'irrigation donne des avis techniques sur la gestion de l'eau du lac Maga.

19 Le plan directeur du parc national du Diawling et de sa zone périphérique a été élaboré selon un processus participatif et itératif. Celui-ci a débuté en mars 1994 par une mission pluridisciplinaire composée d'un large éventail d'experts des différents secteurs concernés, de sociologues et de personnes-ressources de la communauté locale. Chaque village ou campement a fait l'objet d'un ou plusieurs exercices inspirés par les méthodes accélérées de la recherche et planification participative (MARPP), suivis par des missions scientifiques pour valoriser les connaissances traditionnelles et par des études techniques sur certains enjeux mis en évidence par les collectivités. Des versions préliminaires ont été envoyées pour observations et commentaires aux partenaires et une version finale a été adoptée dans une réunion élargie des parties prenantes en décembre 1997. Le plan a été approuvé par le ministère du Développement rural et de l'environnement en début 1998. En août 1998, le gouvernement mauritanien s'est engagé à ne pas construire d'ouvrage pouvant limiter les écoulements entre le fleuve Sénégal et l'estuaire artificiel (notamment le barrage du Ntiallakh, projet qui avait été proposé par le lobby rizicole).

Des études d'impact sur l'environnement

20 Les études d'impact sur l'environnement sont encore rarement une obligation dans les projets de développement en Afrique et, si elles sont exécutées, il y a peu de contrôle de qualité ni de mesures contraignantes pour l'application des recommandations pour l'atténuation des impacts. Un exemple en Mauritanie est celui du projet du lac d'Aleg, vaste cuvette inondable de 60 km à 150 km à l'est de Nouakchott. L'étude d'impact, perçue comme étant imposée par des lobbies « verts » à cause de l'importance de la zone humide en question, a été traitée comme une simple formalité avec une implication minimale des acteurs mauritaniens. Au Cameroun, une étude d'impact des crues artificielles nécessaires à la réhabilitation de la plaine a été réalisée. Des mesures d'atténuation pour l'impact le plus important, qui est l'augmentation des maladies hydriques, ont été prises :

construction de puits et de latrines, campagnes de sensibilisation et d'information, renforcement des capacités des services sanitaires.

21 L'étude d'impact du barrage de Diama pour le bas-delta mauritanien (Gannett F. C. and Carpenter Inc., 1980), bien que non-appliquée à la période la plus propice (avant-barrage), a guidé les activités à mettre en œuvre par le projet, notamment en ce qui concerne les crues artificielles. Néanmoins, à cause de contraintes budgétaires, les débits nominatifs des ouvrages de prise d'eau dans la retenue de Diama ont été en-dessous de ceux recommandés (15 m^3 s^{-1} à Lemer au lieu de 25 m^3 s^{-1}. De plus, pendant la longue période d'assèchement des plaines et cuvettes, une très forte érosion éolienne s'est développée sur les zones dénudées de leur végétation et devenues salées. Les sédiments argileux se sont déposés préférentiellement dans les axes hydrauliques à orientation est-ouest, perpendiculaires à l'harmattan (vent dominant en saison sèche). Ceci a fortement diminué le débit d'évacuation du bassin de Bell en direction de l'estuaire artificiel du Ntiallakh. En dépit de la présence d'un potentiel nominatif cumulé des deux ouvrages de Bell de 20 m^3 s^{-1}, les débits réalisés en contre-saison ne dépassent pas 5 m^3 s^{-1} (Pires, 1998). Les teneurs en sel peuvent donc être baissées à des niveaux qui permettent à la mangrove de survivre mais les inondations ont un impact restreint sur la qualité de l'eau dans la partie sud du Ntiallakh. La majorité des villages, dont les puits sont devenus de plus en plus salés en saison sèche depuis l'achèvement du barrage, se trouvent précisément dans cette zone.

Des études sociales et économiques

22 Une importante composante sociologique a accompagné les deux projets. Au Cameroun, une étude socio-économique complète a été réalisée suite aux inondations pilotes, prouvant que les crues artificielles présentaient des avantages économiques substantiels (IUCN, 1999). Au Diawling, des analyses ont été faites sur certaines activités principales, notamment le tissage des nattes en *Sporobolus robustus,* activité féminine et principale source de revenus pour les ménages du bas-delta (Morel, 1998) et sur la pêche et l'élevage (Duvail *et al.*, *ibid.*).

La mise en œuvre d'actions pratiques

23 Les deux projets ont, dès leur début, mis en œuvre des actions pratiques (éco-développement, micro-projets), souvent dans des domaines non directement concernés par leur vocation dite « environnementaliste », suite aux besoins identifiés par les collectivités. Ces actions – par exemple, l'aide technique et matérielle pour les activités maraîchères des groupements féminins en Mauritanie – ont largement contribué à réduire la méfiance qui pouvait exister entre certaines parties prenantes, notamment entre l'autorité du parc national du Diawling et les collectivités locales.

24 Pour des actions de plus grande envergure, les projets ont œuvré à mobiliser des ressources complémentaires auprès de bailleurs plus appropriés, notamment bilatéraux. Ainsi en Mauritanie, des engagements ont été pris pour l'adduction d'eau et le désenclavement des villages de la dune côtière et pour le curage des marigots colmatés par les dépôts éoliens, pour les études hydrologiques et halieutiques, la recherche scientifique en appui du projet, pour le plan de zonage de la réserve de biosphère et le développement des indices de biodiversité. La mise en œuvre de ces actions est

malheureusement retardée pour différentes raisons liées au manque de capacité de gestion du parc national du Diawling, ce qui risque de compromettre les relations de confiance si laborieusement établies entre les collectivités et les gestionnaires de terrain de l'aire protégée.

Des actions de sensibilisation, d'éducation et de communication

25 Un important effort a été fourni pour la sensibilisation des acteurs locaux et des différents niveaux décisionnels. En Mauritanie, les partenaires scientifiques et techniques ont bénéficié d'une formation en communication pour adapter leurs discours aux interactions avec les collectivités locales. Un exercice intéressant aussi a été une visite guidée des réalisations dans le bas-delta, organisée avec l'appui du Grezoh de la faculté des Sciences et techniques perçue comme instance plus neutre que le parc national du Diawling, pour un ensemble d'acteurs peu favorables à la création du parc à l'origine (différents niveaux de l'OMVS, organisations professionnelles d'éleveurs et d'agriculteurs, services aménagistes ou productivistes du ministère du Développement rural et de l'environnement, etc.).

Un programme de suivi et d'évaluation

26 Le suivi des inondations sur les différentes composantes de l'écosystème a été effectué puis synthétisé. Ensuite, chaque inondation a été suivie d'un exercice participatif d'évaluation des impacts avec l'ensemble des partenaires (Duvail *et al.*, *ibid.*).

Résultats préliminaires

Waza-Logone

27 Les résultats des épandages pilotes depuis 1994 ont été encourageants (Braund, 2000). La végétation herbeuse s'est diversifiée et sa productivité a augmenté. Les rendements de la pêche ont augmenté, le cheptel s'est reconstitué et la culture du riz flottant s'est étendue.

28 Les ressources en eau de surface sont disponibles pendant toute l'année, ce qui a diminué les dégâts causés par la faune sauvage forcée auparavant de quitter les aires protégées en saison sèche. Une augmentation sensible des oiseaux d'eau et de certaines antilopes, notamment le Kob de Buffon (*Kobus kob*) a été constatée.

29 Par kilomètre carré sde plaine restaurée, les bénéfices se chiffrent à près de 1 500 000 F CFA, dont 74 % sont réalisées dans l'élevage, 25 % en pêcheries et le reste essentiellement en tourisme (IUCN, 1999).

Bas-delta mauritanien

30 Suite à la première inondation pilote de 1994, les experts sectoriels avaient synthétisé les connaissances traditionnelles avec leurs recherches complémentaires et faits des hypothèses sur les résultats qu'on pourrait espérer par une réhabilitation optimale.

Végétation

31 En ce qui concerne la végétation, une des espèces cibles était le *Sporobolus robustus,* herbacée pérenne utilisée par les femmes des tribus maures pour la confection de nattes hautement appréciées sur le marché national et, de plus en plus, sur le marché international. Les analyses socio-économiques de 1993 avaient démontré que, pour ceux ayant encore accès à la matière première (essentiellement dans les zones basses à l'ouest de la dune de Birette), la vente des nattes était la principale source de revenus des ménages. De plus, les vastes étendues de *Sporobolus* lors de la période d'avant-barrage (3 000 ha au début des années 60) (Baillargeat, 1964) avaient été le lieu de nidification préféré des Grues couronnées (*Balearica pavonina*), espèce en déclin spectaculaire en Afrique de l'Ouest, conférant au *Sporobolus* une grande valeur pour la biodiversité.

32 Dans l'élaboration du schéma des crues artificielles, une grande importance a donc été accordée à cette espèce (Duvail *et al.*, *ibid.*). Dès la première inondation pilote, les *Sporobolus* ont recolonisé le bassin de Bell. Lors des plus grandes inondations, ce processus de reprise s'est confirmé sur de plus vastes étendues, couvrant actuellement plus de 600 ha dans le bassin de Bell par rapport à moins de 40 ha en 1993. De plus, les tiges qui étaient éparses et courtes, ne permettant pas d'exploitation jusqu'en 1995, atteignent une longueur de 2 à 2,5 mètres depuis 1996. Ainsi la production de nattes a repris de façon spectaculaire. De plus, l'accompagnement d'un encadrement pour une production artistique a très largement augmenté la plus-value réalisée.

Pêche

33 En ce qui concerne la pêche, cette activité avait quasiment disparue du bas-delta en 1993 (Diagana, 1997). Seuls trois pêcheurs âgés continuaient à la pratiquer dans l'ancien lit mineur du fleuve, incorporé dans la retenue de Diama à l'ouvrage de Lemer. Leurs captures totales ne dépassaient en général pas 30 kg par jour. Suite aux inondations pilotes, il y avait en moyenne 18 pêcheurs, dont une majorité de jeunes, actifs à l'ouvrage de Lemer avec la majeure portion des captures côté bassin de Bell, jusqu'à 400 kg par jour en période de décrue (novembre-décembre) et autour de 100 kg par jour jusqu'à l'assèchement du bassin (variable selon la cote maximale atteinte mais en général en janvier-février). Suite aux inondations importantes dans le bassin de Diawling à partir de 1999, les captures journalières en décrue ont augmenté jusqu'à, 1 000 kg par jour à l'ouvrage de Cheyal où 46 pêcheurs étaient actifs. Sur le plan qualitatif, les pêcheurs des bassins de Bell et de Diawling considèrent que leur production en décrue reflète étroitement les captures d'avant barrage avec 70 % de poissons-chats (essentiellement *Clarias gariepinus*), 25 % de Tilapiines et 5 % d'autres (*Schilbe, Lates niloticus,...*).

34 Dans la partie estuarienne, *Ethmalosa fimbriata,* diverses espèces de Mugilidae et surtout des crevettes *Penaeus* spec. (jusqu'à 300 kg par jour en décrue) sont réapparus en quantités importantes dans les captures, ce qui a eu un impact positif sur les revenus des pêcheurs. Le désenclavement du bas-delta par les nouvelles digues a facilité la commercialisation du poisson et a permis une diversification des négociants. Les pêcheurs ont entamé la construction de nouvelles embarcations pouvant servir aussi aux balades écotouristiques.

Reptiles et oiseaux

35 Il y a peu de données sur les reptiles mais les pêcheurs ont constaté la réapparition des crocodiles, *Crocodylus niloticus,* dans les bassins du parc.

36 Pour les oiseaux, les prédictions les plus optimistes (Hamerlynck *et al.*, 1997) ont été largement dépassées. Le bas-delta mauritanien, qui avait perdu quasiment toutes ses valeurs ornithologiques, abrite maintenant régulièrement des effectifs significatifs au plan international de pélicans blancs *Pelecanus onocrotalus,* grands cormorans *Phalacrocorax carbo lucidus,* cigognes noires *Ciconia nigra,* spatules d'Europe *Platalea leucoradia,* flamants roses *Phoenicopterus ruber,* flamants nains *Phoeniconaias minor,* canards souchets *Anas clypeata,* canards pilets *Anas acuta,* sarcelles d'été *Anas querquedula,* goélands railleurs *Larus genei,* sternes caspiennes *Hydroprogne tchegrava* et avocettes *Recurvirostra avosetta* (Hamerlynck et Messaoud, 2000). Les résultats pour la nidification ont été spectaculaires. Pour la plupart des espèces, le nombre de couples nidifîcateurs a augmenté progressivement en fonction de l'augmentation du niveau maximal de la crue et donc des superficies inondées. La seule exception notable est celle du pélican blanc dont les 1 400 couples, répartis en trois colonies distinctes, ont été observés dès la première observation de nidification lors de la période d'après-barrage. La plupart des espèces qui sont redevenues nidificatrices sont des piscivores et donc des indicateurs de la reprise de la production halieutique.

37 Bien que non encore prouvée, il y a de très fortes indications que le flamant nain, dont la seule reproduction réussie en Afrique de l'Ouest avait été observée en 1965, soit revenu comme nidificateur dans le bas-delta ou dans une zone avoisinante de l'Aftout es Saheli. Deux juvéniles ont été observés en 1998, six en 1999 (Hamerlynck et Messaoud, *ibid.*), cent trente-neuf en 2000 (Measson, 2000).

38 La première observation, en janvier 1999, de la nidification en Mauritanie de la sarcelle à oreillons, *Nettapus auritus,* à Keur Macène, à moins de 20 km du parc national, peut aussi être liée à l'amélioration des conditions écologiques dans le bas-delta.

Elevage et mammifères sauvages

39 En ce qui concerne les mammifères domestiqués, le bas-delta n'avait plus en 1993 qu'une cinquantaine de bovins, dont la majeure partie appartenait aux wolofs de Ndiago en capitalisation de leurs économies de la pêche en mer à Nouadhibou. Suite aux inondations pilotes, les troupeaux des éleveurs maures sont revenus, et pendant plusieurs mois de l'année, on peut dénombrer 1 400 bovins, près de 1 000 ânes et 300 dromadaires dans le bas-delta. Les bovins sont surtout attirés par les riches pâturages de *Echinochloa colona,* les camelins par les dizaines de milliers de jeunes *Avicennia germinans* venus recoloniser les espaces où la mangrove avait disparu entre 1986 et 1993 (Diawara, 1997). Certains des maures sédentarisés ont aussi pu reconstituer des petits troupeaux de bovins, souvent gardés par des bergers peuls.

40 Pour les mammifères sauvages, le changement le plus facile à observer a été l'augmentation des phacochères, *Phacochoerus africanus.* En 1993, les rencontres avec cette espèce par l'équipe de surveillance du parc se faisaient rarement (en moyenne une fois par mois), souvent au crépuscule quand un ou deux phacochères allaient s'abreuver au fleuve. Dès 1998, il était systématique de voir, même de jour, des hardes dans toutes les plaines herbeuses des bassins restaurés. D'où, après une dizaine d'années d'inaction, la

réouverture du campement de chasse de Keur Macène, attirant des chasseurs européens avec des publicités annonçant des trophées de cette espèce.

41 Les autres mammifères sont plus discrets mais une nette augmentation de contacts avec le singe rouge, *Cercopithecus patas,* les lièvres, *Lepus* spec, le chacal, *Canus aureus,* le ratel, *Mellivora capensis,* et la mangouste des marais, *Atilax paludinosus,* a été constatée par les gestionnaires du parc. De même, des hyènes rayées, *Hyaena hyaena,* ont été signalées à plusieurs reprises par les éleveurs, et des observations de caracal, *Felis caracal,* ont aussi été faites.

42 En conclusion, la productivité au bas-delta a repris à tous les niveaux trophiques avec des incidences socio-économiques favorables et la biodiversité s'est trouvé restaurée en grande partie.

Contraintes

43 Les dynamiques de la régénération écologique et l'adaptation des stratégies d'exploitation par les collectivités n'ont pas le même pas de temps, notamment en ce qui concerne la régénération des ligneux caractéristiques aux plaines inondables (*Acacia nilotica*) et deltaïques (*Avicennia germinans*). Ce décalage peut être important.

44 Ceci a des incidences fortes, par exemple sur l'activité artisanale. Le *Sporobolus robustus,* herbacée pérenne a rapidement recolonisé des superficies importantes et l'exportation de nattes en *Sporobolus* vers la capitale a considérablement augmenté causant une demande accrue pour les gousses d'*Acacia nilotica,* utilisées pour le tannage du cuir. Les femmes des différents villages sont donc en compétition pour les gousses d'un nombre restreint d'arbres déjà productifs, les récoltant à un stade non mature et avec des techniques souvent destructrices. De plus, la régénération des espèces herbacées a permis une croissance très rapide des troupeaux (bovins, caprins, ovins, ânes, dromadaires), ce qui a des effets négatifs sur la régénération des ligneux, d'où la nécessité de la création de zones de mise en défens.

45 Les ressources nouvellement disponibles et la dégradation environnementale des zones alentours attirent des acteurs extérieurs vers les zones restaurées. Il est donc indispensable d'étendre l'approche écosystème à l'échelle du bassin versant et de revoir de façon fondamentale l'approche sectorielle des autorités de bassin. L'imbrication des zones humides et des zones arides du Sahel impose même le développement d'une vision encore plus large de l'aménagement du territoire en fonction des vocations écologiques des unes et des autres. Une plus forte intégration des différentes conventions internationales (zones humides, biodiversité, désertification, changement climatique) pourrait créer un canevas institutionnel favorable à cette perception holistique.

46 Le caractère avant-gardiste des interventions fait que, à plusieurs niveaux décisionnels, le processus est mal compris. De ce fait, de sérieux problèmes d'ordre institutionnels ont été rencontrés lors de la mise en œuvre de ces projets. La pluridisciplinarité, la nécessité de forger des partenariats entre chercheurs et gestionnaires, la reconnaissance de la valeur des connaissances traditionnelles, l'implication de plusieurs ministères, départements et services techniques, l'attitude ouverte et participative des techniciens du projet, autant de nouveautés qui déclenchent parfois de réactions contraires dans des structures habituées à d'autres approches. Le faible niveau de développement des autres secteurs dans les zones concernées, notamment en matière d'éducation et de santé, le

cloisonnement social entre différents groupes d'acteurs et le manque de tradition en organisation collective et en résolution des conflits restent des préoccupations pour les gestionnaires. Les programmes de décentralisation en cours dans les pays en développement offrent en principe une meilleure base juridique à la gestion locale des ressources naturelles. Malheureusement, ces programmes sont souvent un simple désengagement de l'état qui ne met pas ou peu de moyens à la disposition des structures décentralisées. En dehors du problème généralisé de la bonne gouvernance – et les effets de cela sur la confiance nécessaire entre les parties prenantes –, on se heurte à un manque de capacité de gestion des structures décentralisées.

Discussion

47 Les actions en faveur de l'environnement sont souvent perçues encore comme des actions de basse priorité, voire inutiles pour des pays en développement. Les expériences de réhabilitation des plaines inondables présentées ici, certes financées par des budgets « environnementaux », ont eu des impacts incontestables sur les indicateurs de développement des zones qu'elles ont touchées.

48 Les oiseaux d'eau, dont, mis à part leur intérêt cynégétique, de nombreux aménagistes se demandent quel intérêt ils ont en Afrique subsaharienne, sont finalement de façon indirecte une partie prenante importante du suivi écologique. Effectivement, la facilité d'observation des espèces, et notamment celles des zones humides, fait que les oiseaux d'eau peuvent être considérés comme de bons indicateurs. Ainsi, la présence de fortes concentrations d'oiseaux piscivores est un indicateur d'une bonne production halieutique. Jusqu'à une époque récente, les oiseaux d'eau constituaient le critère quantitatif principal pour la désignation de zones humides d'importance internationale sous la convention de Ramsar (1971). Par exemple, c'est essentiellement par le biais des oiseaux que les contribuables néerlandais incitent leur gouvernement à inscrire la conservation comme un des axes prioritaires des projets de développement financés avec leur argent. C'est finalement cet argent qui a redonné vie à la plaine du Logone et au bas-delta mauritanien, conduisant à l'amélioration de la qualité de vie des collectivités locales, une vingtaine d'années après le refus des bailleurs des infrastructures hydrauliques initiales de prendre véritablement en compte les besoins des écosystèmes en aval.

49 Les approches participatives pour aboutir à des systèmes de cogestion des zones humides prennent de l'ampleur. Basée sur 23 études de cas issues d'un large éventail de pays (dont le Cameroun et la Mauritanie, objets de la présente communication), de Sherbinin et Claridge (2000) ont synthétisé les leçons communes. Les mots clés sont : mesures incitatives, confiance, flexibilité, échange de connaissance et renforcement des capacités, continuité. Leur application à d'autres zones humides africaines est très fortement recommandée et nous en donnons ci-dessous un petit aperçu.

Mesures incitatives

50 Le processus participatif ne peut aboutir que si les parties prenantes y ont un intérêt. En Afrique, les bénéfices pour les collectivités locales se réalisent à travers une meilleure gestion des ressources naturelles et un contrôle accru des filières commerciales, voire par une reconnaissance officielle d'un droit « territorial » sur l'exploitation. Néanmoins, cette reprise écologique demande du temps et la situation économique des acteurs peut être

dans un état critique les obligeant à préférer la satisfaction des besoins immédiats à une vision de durabilité de l'exploitation. Les actions d'éco-développement, en plus de leur intérêt pour le développement en général (organisation en groupements, cours d'alphabétisation et d'arithmétique, d'hygiène, etc.), peuvent faciliter l'adhésion aux objectifs à plus long terme, vu que les résultats sont tangibles et immédiats.

Confiance

51 La facilitation du dialogue entre les différentes parties prenantes, condition primordiale pour l'établissement de relations de confiance, est un élément clé pour la réussite d'un processus participatif. De prime abord, il y a de la méfiance, des suspicions sur les éventuels agendas secrets des autres parties prenantes. Dans des sociétés hiérarchiques, voire tribales ou castées, où des conflits intra et inter-communautaires peuvent avoir des racines historiques profondes, l'établissement d'un dialogue est une tâche à ne pas sous-estimer. Plusieurs années peuvent s'écouler avant que « le projet » soit perçu comme un intermédiaire honnête (*"honest broker"*) lui permettant d'ouvrir les boites noires des conflits non résolus pour l'utilisation des ressources naturelles. Il est très important en ce sens de ne pas interpréter « la diplomatie » comme un outil permettant d'éviter les conflits. Une attitude incitant à la confrontation maîtrisée est souvent nécessaire pour pouvoir mobiliser les énergies d'un conflit sous-jacent vers une relation plus constructive. Essayer de plaire à tout le monde mène en général à l'échec.

Flexibilité

52 Les processus participatifs sont caractérisés par l'avènement de nombreuses surprises, ce qui nécessite souvent des actions ne faisant pas partie du cadre logique contractuel et conclu entre le bailleur et l'agence d'exécution. L'application du processus participatif au-delà du discours politique, et donc la nécessité d'être flexible, pose des problèmes considérables aux individus.

Echange de connaissances et renforcement des capacités

53 Un des aspects les plus productifs de ces processus participatifs est la synthèse des connaissances traditionnelles, basées sur des observations directes et rapprochées par les collectivités locales depuis plusieurs générations, et les investigations proprement scientifiques. Impliquer les collectivités dans le suivi, par exemple des nappes souterraines, et la recherche facilite l'acceptation de réglementations. Ainsi, au Diawling la méthode d'arrachage des tiges de *Sporobolus* a été comparée avec celle utilisant la faucille sur des zones expérimentales, en présence des groupes de femmes pratiquant les deux méthodes. Les résultats après l'inondation suivante montraient clairement que la régénération des souches était meilleure avec la première méthode, rendant plus facile l'interdiction des faucilles. Le rapprochement entre les scientifiques et les utilisateurs des ressources naturelles contribue à un renforcement mutuel des capacités.

Continuité

54 Les contraintes citées plus haut, le développement des relations de confiance et la nécessité de tester plusieurs stratégies avant d'arriver à un processus participatif fonctionnel nécessitent du temps, beaucoup plus de temps que l'imposition d'un projet de

développement plus classique. Il y a donc un besoin d'engagement du bailleur sur une période de 15 à 20 ans, incluant une stratégie de sortie avec un désengagement progressif permettant de tester la durabilité des systèmes de cogestion mis en place.

Conclusion

55 En général, dès la phase de conception de tout barrage, il faut intégrer les besoins en eau des écosystèmes en aval et prévoir des équipements hydrauliques permettant de créer des crues artificielles dont le calendrier, l'ampleur et la durée permettent de simuler les crues naturelles. Les expériences du Waza-Logone et du bas-delta mauritanien montrent qu'il est techniquement possible de restaurer en grande partie la structure et les fonctions des écosystèmes des plaines inondables africaines par des crues artificielles et que ces interventions ont des résultats probants pour la biodiversité et les économies locales.

56 Beaucoup d'autres plaines inondables et zones humides dégradées en Afrique pourraient bénéficier d'une telle réhabilitation dans un contexte de cogestion de l'eau et ce à toutes les échelles, du bassin versant du Zambèze (Gammelsrod, 1996) aux cuvettes à étendue limitée comme l'Aftout es Saheli en Mauritanie ou le Ndiäel au Sénégal, pour ne citer que deux exemples limitrophes à l'expérience du Diawling. L'extension de l'expérience de la plaine de Waza sur des superficies de plus en plus grandes est fortement recommandée. L'approche participative à toutes les étapes, de la planification à la mise en œuvre, jusqu'au suivi-évaluation – et même la recherche scientifique – est une des clés du succès de ces essais de réhabilitation. Cette approche permet aussi de construire le capital social indispensable à la cogestion efficace de sites ayant des valeurs environnementales protégées par l'existence de systèmes d'exploitation traditionnels durables.

57 Une mise en œuvre progressive, avec des lâchés s'approchant de plus en plus de la crue naturelle, tout en faisant un suivi et une évaluation périodiques des résultats de la crue artificielle précédente, permet d'adapter la gestion aux réactions relativement peu prévisibles de ces écosystèmes artificialisés. Un suivi rapproché de l'évolution des différentes espèces et les observations en ce sens par les utilisateurs directs des ressources naturelles sont indispensables. Un élément encore très peu maîtrisé est la simulation de la variabilité interannuelle de la crue, si caractéristique des plaines inondables sahéliennes. Elle est probablement nécessaire pour empêcher la domination de certaines espèces mais les expériences ne se sont pas encore étendues sur une série d'années assez longues pour en dire plus.

58 Les impacts de ces inondations pilotes se doivent d'être communiqués à un large public pour encourager le dialogue entre les différentes parties prenantes et les équipes pluridisciplinaires. Ces derniers, intégrant sciences fondamentales et sciences humaines, se doivent d'opérer en partenaires et conseillers techniques des collectivités locales, permettant à la fois de renforcer leurs capacités de gestion et de les sensibiliser sur les limites écologiques de l'exploitation des ressources naturelles.

59 Ce genre d'expérimentation écologique à une échelle importante offre des possibilités considérables pour la recherche scientifique en Afrique. L'analyse des réactions des différentes espèces végétales et animales, en fonction des durées et hauteurs des crues artificielles, devrait permettre, à long terme, de développer des modèles du fonctionnement de ces écosystèmes actuellement encore peu maîtrisés.

60 On pourrait espérer que des bailleurs de fonds plus structurels que l'UICN, dont le champ d'action est limité par la définition de sa mission, perçoivent les opportunités qu'offre cette approche et soutiennent ce développement écosystémique en accordant de façon prioritaire des contributions dans d'autres secteurs, notamment en infrastructures sociales (eau potable, désenclavement), éducation, formation et santé, capacités de gestion et bonne gouvernance, à des projets dont la durabilité environnementale est garantie.

61 La plus grande contrainte, mis à part l'obtention de financements pour des projets souvent considérés comme « ne bénéficiant qu'aux seuls oiseaux », est sociologique. Une grande priorité doit donc être accordée au développement continu de modèles de cogestion des ressources en eau, appropriés au niveau local et intégrant les besoins et usages de toutes les parties prenantes. L'extension de ces expériences à d'autres échelles, jusqu'à celui du bassin versant puis de la région, reste encore aujourd'hui un défi scientifique de première importance pour une exploitation rationnelle et durable des zones inondables tropicales.

Remerciements

62 Les deux projets de réhabilitation ont été financés en majeure partie par la DG1S (coopération néerlandaise) à travers l'UICN. La recherche scientifique dans le bas-delta mauritanien a été facilitée par la Fondation Internationale du Banc d'Arguin (FIBA) et le Fond de conservation des zones humides de la convention de Ramsar. Les collectivités des deux plaines inondables ont gracieusement accepté de libérer du temps précieux pour les approches participatives, dont les bénéfices directs n'étaient initialement pas du tout apparents.

63 Les gouvernements du Cameroun et de la République Islamique de Mauritanie ont soutenu c es projets de la façon qui leur semblait la plus appropriée. Nous sommes reconnaissants de toutes ces contributions.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Acreman M., 1994 – "The role of artificial flooding in the integrated development of river basins in Africa". *In* Kirby C, White W. R. (éd.) : *Integrated river basin development,* Chichester, UK, John Wiley and Sons : 35-44.

Acreman M., sous-presse – *Case studies of managed flood releases from reservoirs.* World bank, Water resources and environmental management, Guidelines series, 13 p.

Adams A., 1999 – *Social impacts of an African dam : equity and distributional issues in the Senegal river valley.* World Commission on Dams, Thematic reviews, www.dams.org/thematic.

Adams W. M., 1996 – “Economics and hydrological management of African floodplains”. *In* Acreman M., Hollis G. E. (éd.) : *Water management and wetlands in sub-Saharan Africa,* Gland, Suisse, IUCN : 21-33.

Baillargeat J., 1964 – *Hydrologie du delta du Sénégal. Rive droite du fleuve.* Rapport de synthèse des campagnes 1961, 62, 63, entre Rosso et Saint-Louis, Sogréah, Grenoble, France, extrait du R 8 622, 83 p.

Barbier E. B., Adams W. M., Kimmage K., 1991 – *Economie valuation of wetland benefits : the Hadejia Jama’aire floodplain, Nigeria.* Discussion paper DP 91-02, Environmental economics centre, International Institute for Environment and Development, London, 26 p.

BDPA-Scetagri, 1993 – *Schéma d’aménagement de l’espace rural dans le delta du fleuve Sénégal.* MDRE, CFD, 63 p.

Beilfuss R. D., Davies B. R., 1999 – “Prescribed flooding and wetland rehabilitation in the Zambezi delta, Mozambique”. *In* Streever W. (éd.) : *An international perspective on wetland rehabilitation,* Kluwer academic publishers, Dordrecht, the Netherlands : 143-158.

Braund R., 2000 – “The restoration of the Waza Logone floodplain”. *In : Sahelian floodplains, challenges and perspectives,* Proceedings of the regional conference, IUCN Regional Office for West-Africa, Ouagadougou, Burkina Faso : 45-50.

Bruwer O, Poultney C, Nyathi Z., 1996 – “Community based hydrological management of the Phongolo floodplain”. *In* Acreman M., Hollis G. E. (éd.) : *Water management and wetlands in sub-Saharan Africa,* Gland, Suisse, IUCN : 199-211.

Cowan G. I., 1999 – “Rehabilitation of Wetlands : an African perspective”. *In* Streever W. (éd.) : *An international perspective on wetland rehabilitation,* Kluwer acad. publ., the Netherlands.

Duvail S., 2000 – *Confrontation des modèles hydrologiques et des modèles de développement en rive mauritanienne du delta du fleuve Sénégal.* Thèse doct., univ. Strasbourg, Cereg.

Diagana C. H., 1997 – « Premières observations sur l’écologie du peuplement ichtyologique de la zone inondée et de l’estuaire du parc national du Diawling (Mauritanie) ». *In* Colas F. (éd.) : *Environnement et littoral mauritanien,* Cirad, Montpellier : 135-142.

Diawara Y., 1997 – « Formations morphopédologiques et les unités floristiques du bas-delta mauritanien ». *In* Colas F. (éd.) : *Environnement et littoral mauritanien,* Cirad, Montpellier : 47-52.

Gammelsrod T., 1996 – “Effect of Zambezi river management on the prawn fishery of the Sofala bank”. *In* Acreman M., Hollis G. E. (éd.) : *Water management and wetlands in sub-Saharan Africa,* Gland, Suisse, IUCN : 119-124.

Gannett F. C. and Carpenter Inc., 1980 – *Assessment of environmental effects of proposed developments in the Senegal river basin. Synthesis.* Final report, Gannett Fleming Corddry and Carpenter Inc. in association with Orgatec-société africaine d’études techniques, Dakar, Sénégal.

Hamerlynck O., 1999 – « Restauration du parc national du Diawling (Mauritanie) ». *In : Vers une gestion durable des plaines d’inondation sahéliennes,* UICN, Gland, Suisse et Cambridge, UK : 160-169.

Hamerlynck O., Cazottes F., 1998 – Le parc national du Diawling : infrastructures hydrauliques pour la restauration d’une plaine d’inondation et la création d’un estuaire artificiel. *Sud Sciences et Technologies,* EIER, Ouagadougou, 1 : 28-38.

Hamerlynck O., Messaoud B. Ould, 2000 – Suspected breeding of lesser flamingo *Phoeniconaias minor* in Mauritania. *African bird club bull.,* 7(2) : 109-110.

Hamerlynck O., Samba E. Ould, Messaoud B. Ould, Diagana C. H. 1997 – « Valeurs ornithologiques du bas-delta mauritanien ». *In* Colas F. (éd.) : *Environnement et littoral mauritanien,* Cirad, Montpellier : 57- 63.

Hamerlynck O., Baba M. L. Ould, Duvail S., 1999 a – The Diawling national park : joint management for the rehabilitation of a degraded coastal wetland. *Vida Sylvestre Neotropical,* (7) 1 : 59-69.

Hamerlynck O., Duvail S., Baba M. L. Ould, 1999 b – *Reducing the environmental impacts of the Manantali and Diama dams on the ecosystem of the Senegal river and estuary : alternatives to the present and planned water management schemes.* World commission on dams, Africa and Middle East consultation, Cairo, Egypt, December 1999, www.dams.org/submissions.

IUCN, 1999 – *Economic assessment study. Consultancy for the Waza-Logone project.* Rapport CML, univ. Leiden, the Netherlands.

Measson L, 2000 – *Rapport de mission du 30 octobre au 18 novembre 2000.* Rapport Marine nationale / UICN, Nouakchott, Mauritanie, 23 p.

Morel D,, 1998 – *Eléments sur l'hydrologie et la végétation du parc national du Diawling.* Rapport de stage de l'Institut supérieur européen, des métiers de l'environnement (ISEME), Fontenay-le-Comte, 33 p.

Mott MacDonald, 1993-*Mathematical model of the hydrological behaviour of lake Chad and its feeder rivers.* Cambridge, UK.

Mott MacDonald, 1999 – *Logone floodplain model study report.* Cambridge, UK.

Naah E., 1993 – Hydrologie du grand Yaéré du nord Cameroun. Thèse doct., univ. Yaoundé, Cameroun.

Ngantou D., Kouokam R., 2000 – "Cameroon case study : Waza-Logone floodplain". *In : Establishing and strengthening local communities' and indigenous people's participation in the management of wetlands,* Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, Ramsar convention bureau, Gland, Switzerland, Handbook 5 : 63-64.

Pires J.-C, 1998 – *Restauration de la nature et développement : analyse comparative de deux projets de réhabilitation de plaines d'inondation en Afrique.* Rapport de stage, École nationale du génie rural des eaux et des forets (ENGREF), 120 p.

Pirot J.-Y., Meynell P.-J., Elder D., 2000 – *Ecosystem management : lessons from around the world. A guide for development and conservation practitioners.* IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 132 p.

Scudder T., Acreman M. C., 1996 – "Water management for the conservation of the Kafue wetlands, Zambia and the practicalities of artificial flood releases". *In* Acreman M. C, Hollis G. E. (éd.) : *Water management and wetlands in sub-Saharan Africa,* Gland, Suisse, IUCN : 101-106.

Sherbinin A. de, Claridge G., 2000 – "Involving local communities and indigenous people in wetland management – a resource paper ". *In* Handbook 5 : *Establishing and strengthening local communities' and indigenous people's participation in the management of wetlands,* Ramsar handbooks for the wise use of wetlands, Ramsar convention bureau, Gland, Switzerland : 21-52.

Unep, 2000 – *Ecosystem approach : further conceptual elaboration.* Technical and technological advice, United Nations environment programme, Convention on biological diversity – subsidiary body on scientific, fifth meeting, Montreal, 31 January – 4 February 2000, item 4.2.1 :16 p.

Wesseling J. W., Naah E., Drijver C. A., Ngantou D., 1996 – "Rehabilitation of the Logone floodplain, Cameroon, through hydrological management". *In* Acreman M. C, Hollis G. E. (éd.) : *Water management and wetlands in sub-Saharan Africa,* Gland, Suisse, IUCN : 185-198.

World commission on dams, 2000 – *Dams and development, a new framework for decision-making.* Report of the World commission on dams, Earthscan, London, 488 p.

NOTES

1. Duvail S., Bergkamp G., Ould Baba M. L, Acreman M., Hamerlynck O., ce volume – « Modélisation hydraulique et gestion sociale de l'eau ». *In : partie 4.*

AUTEURS

OLIVIER HAMERLYNCK

Géographe. UICN, programme zones humides, 28 rue Mauverney, CH-1196 Gland, Suisse, miromao@hotmail.com

BRAHIM OULD MESSAOUD

Géographe. UICN Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, braza92@hotmail.com

RICHARD BRAUND

Géographe. r&b@braund.demon.co.uk

CHEIKH HAMALLAH DIAGANA

Géographe. UICN Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, cdiagana@univ-nkc.mr

YELLI DIAWARA

Géographe. UICN Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, ydiawara@univ-nkc.mr

DANIEL NGANTOU

Géographe. UICN project office, BP 284, Maroua, Cameroon, pwl@iccnet.cm

Le poisson, une nouvelle ressource au barrage de Manantali

Soumana Alhousseini

1 Le barrage de Manantali est situé sur le Bafing (branche-mère du fleuve Sénégal) dans la partie sud-ouest du Mali. Il a pour fonctions principales l'irrigation, la production d'énergie, la navigation et la régulation des débits. La retenue qui l'accompagne s'étend entre 12°40'- 13°12' N et 10°08'- 10°26' O et couvre une superficie de 475 km^2 pour un volume de 11 milliards de m^3 d'eau. La profondeur maximale est de 50 m et la profondeur moyenne de 23 m. Cette retenue se caractérise par son fonctionnement thermique de type oligomictique[1] et la faible productivité des eaux (oligotrophe à mésotrophe [2]) (Alhousseini, 1999). Cette qualité trophique des eaux est liée à la nature du substrat gréseux (pauvre en éléments fertilisants), à celle de la forêt clairsemée (qui couvre le bassin) et au marnage limitant le développement des végétaux aquatiques. Moins vulnérable aux aléas climatiques, la retenue joue un rôle important dans l'extension et la diversification des espaces halieutiques et l'accroissement de la production de poisson.

2 Cet article a pour objet la présentation de cette nouvelle ressource piscicole et l'immense capacité d'adaptation des acteurs dans un contexte environnemental et socio-économique difficile.

Caractéristiques de la ressource

3 L'explosion trophique, qui a suivi la mise en eau du barrage, s'est traduite sur le plan ichtyologique par un développement spectaculaire des ressources piscicoles (fig. 1).

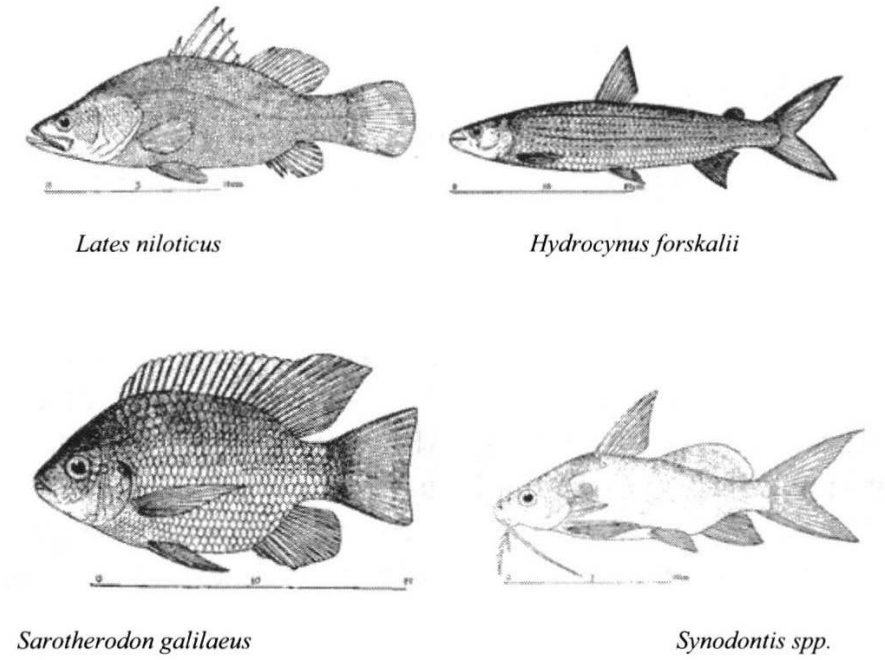


Figure 1. Les principales espèces d'intérêt halieutique.

4 Après cette première phase, le peuplement ichtyologique a subi de profondes modifications en rapport avec l'évolution du milieu. Ces modifications ont eu pour conséquence une perte en richesse spécifique, en diversité et le développement de tendances adaptatives. Les espèces les moins adaptées aux nouvelles conditions du milieu ont fortement régressé ou disparu complètement tandis que celles qui s'adaptent le mieux connaissent un fort développement. L'inventaire actuel du peuplement (basé sur l'inventaire de production de la pêche locale) donne 33 espèces réparties en 14 familles. Les 10 espèces les plus fréquentes dans les débarquements (86 % des captures) sont par ordre d'importance pondérale décroissante : *Sarotherodon galilaeus* et les autres *Tilapia (T. dageti, T. zillii)* pour 30 %, *Hydrocynus forskalii* pour 17 %, *Synodontis spp.* pour 13 %, *Lates niloticus* pour 12 %, *Labeo coubie* pour 6 %, *Chrysichthys auratus* pour 4 %, *Brycinus macrolepidotus* pour 2 % et *Mormyrus rume* pour 2 %. Le groupe des Tilapia (au sens large), celui des *Synodontis spp.,* les *Hydrocynus spp.* et le *Lates niloticus* (72 % des captures) sont dits d'intérêt halieutique (fig. 1). Ce sont en fait les espèces dont les pêcheurs tirent l'essentiel de leurs revenus soit par leur volume dans la production (*S. galilaeus, Synodontis spp.*), soit par leur haute valeur commerciale (*H. forskalii, L. niloticus*).

5 La composition spécifique du peuplement de la retenue comparée à celle du fleuve d'origine (OMVS, 1993 ; Alhousseini, *ibid*) montre de profonds changements. Les Siluriformes et les Cyprinidaes, très abondants dans le fleuve (fig. 2b) ont globalement régressé au niveau de la retenue (fig. 2a).

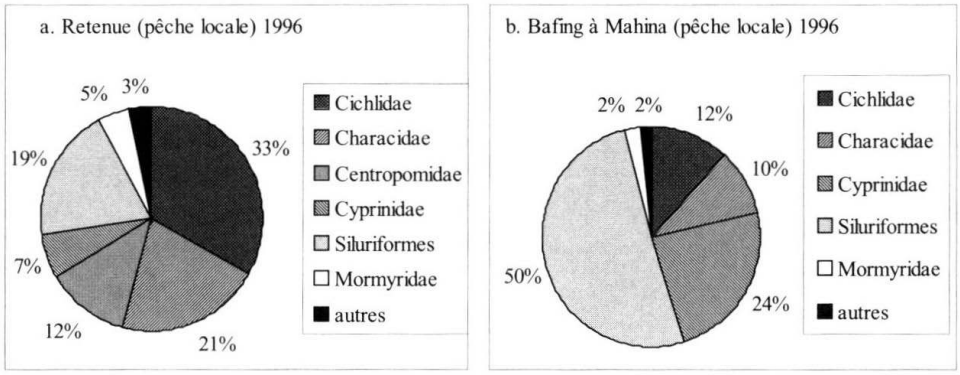


Figure 2. Peuplements comparés de la retenue (a) et du fleuve (b) évalués à partir des prises de pêche.

6 Certaines espèces sont devenues rares (*Clarias anguillaris,* Siluriforme) ou ont disparu : les Cyprinidaes (*Labeo coubie*), les Mormyridaes (*Mormyrus rume, Mormyrops spp....*) ont disparu de la zone lacustre et ne se maintiennent qu'en amont. Par contre, les Centropomidaes et les Characidaes, absents ou de moindre importance dans les captures au niveau du fleuve se développent rapidement au niveau de la retenue et deviennent de plus en plus abondants dans les prises des pêcheurs. Les Cichlidae, en général, et les *Sctrotherodon,* en particulier, s'installent en position de groupe dominant dans les eaux de la retenue. Ces changements, conséquences des modifications du milieu, témoignent d'une tendance évolutive rapide du peuplement ichtyologique vers un type lacustre. Par ailleurs, la variabilité des facteurs du milieu (notamment la profondeur, le courant, la température et l'oxygène) permet de distinguer au niveau de la retenue une partie fluviatile (zone amont) et une partie véritablement lacustre (zone proche du barrage). Ce gradient détermine un gradient de distribution des espèces (fig. 3). Ainsi la composition spécifique du peuplement change d'une zone à l'autre. De la partie lacustre (zone proche du barrage) jusqu'à la zone intermédiaire (zone centrale), le peuplement est dominé par les Cichlidae (*Satrotherodon* notamment), tandis que dans la partie fluviatile (zone amont) les Siluriformes (essentiellement *Synodontis*) prédominent.

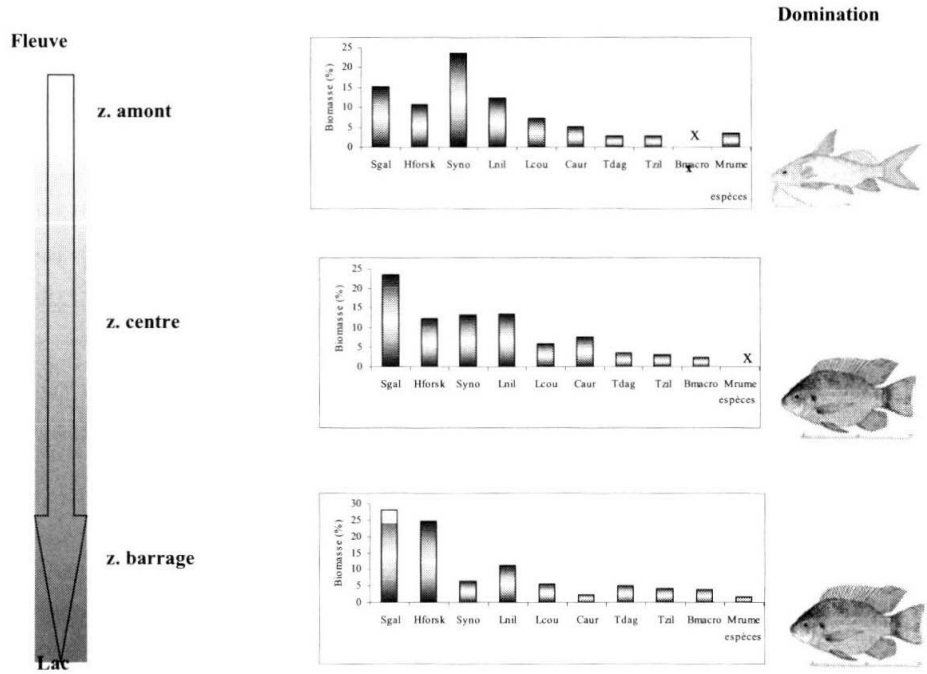


Figure 3. Répartition spatiale des principales espèces : *Sarotherodon galilaeus* (Sgal), *Hydrocynus forskalii* (Horsk), *Synodontis* (Syno), *Lates niloticus* (Lnil), *Labeo coubie* (Lcou), *Chrysichthys auratus* (Caur), *Tilapia dageti* (Tdag) *Tilapia zillii* (Tzil) *Brycinus macrolepidotus* (Bmacro), *Mormyrus rume* (Mrume).

7 Globalement, le peuplement est plus riche et plus diversifié en amont (avec 33 espèces) que dans la zone proche du barrage (de 14 à 26 espèces). Enfin, au sein d'une même zone, les variations saisonnières sont également très marquées. La période des hautes-eaux (de novembre à janvier) est la plus riche et la plus diversifiée au niveau des zones centrale et amont de la retenue, tandis qu'en zone proche du barrage la richesse et la diversité ne deviennent maximales qu'à la décrue (du mois de février au mois d'avril).

L'exploitation de la ressource

Les pêcheurs de Manantali

8 Avant l'existence du barrage, la pêche n'était qu'une activité très secondaire, voire ignorée des populations autochtones (DNHE et GTZ, 1989 ; ISH, 1990 ; DNAER, 1997). Ces communautés, dont l'activité principale est l'agriculture, ne sont pas impliquées dans l'activité de pêche qui reste le monopole des groupes professionnels. Aussi le développement actuel de la pêche dans la zone est lié directement aux nouvelles conditions hydrologiques du milieu qui ont accru le potentiel ichtyologique et attiré les pêcheurs professionnels constitués majoritairement par les Bozos et les Somonos (80,5 %), auxquels s'ajoutent des Rimaïbés, des Sonraïs, des Bambaras, des Soninkés et des Peuls (Alhousseini, 1992 ; Alhousseini *et al.*, 1995). Tous originaires du delta intérieur du Niger, ils sont venus spontanément coloniser les bords du lac, dès la mise en eau. Leur effectif, très fluctuant suivant les saisons et les années, est estimé à 667 personnes dont 248 pêcheurs effectifs (ce qui représente 0,5 pêcheur au km^2) regroupés en 20 campements. La pêche constitue leur principale activité. Les interférences et les risques de conflits

sociaux entre les pêcheurs migrants et les agriculteurs autochtones sont très limités du fait de leurs activités distinctes. Les deux communautés entretiennent de bons rapports sociaux qui se traduisent par des échanges et des trocs de produits céréaliers contre le poisson. Mutuellement avantageux, ces transactions permettent aux populations locales, souvent sans revenus monétaires, d'avoir du poisson pour améliorer leur alimentation et aux pêcheurs de constituer des stocks de céréales.

Organisation et gestion de la pêche

9 Les pêcheurs de Manantali appartiennent à des communautés dont l'organisation sociale est basée sur une appropriation symbolique des espaces halieutiques consacrée par le *jitigiya* (la maîtrise des eaux). Véritable institution, la maîtrise de l'eau a un fondement historique (droit du premier occupant) et mythique (en rapport avec les génies des eaux) (Fay, 1989a, 1989b ; Kassibo, 1988,1990). Le « maître des eaux », chef spirituel de sa communauté, réglemente l'accès à la ressource – c'est-à-dire les conditions, les moyens et les techniques de prélèvements. La gestion traditionnelle des pêcheries n'est que le reflet de cette organisation sociale, et le respect de l'ordre (la hiérarchie sociale) en garantit la stabilité. Cette organisation traditionnelle se trouve complètement bouleversée sur le nouveau site de Manantali. En effet, la pêche n'y est pas une tradition, elle n'a ni références historiques ni repères mythologiques ; et la retenue d'eau, milieu artificiel, n'a pas de « maître des eaux ». L'accès à la ressource est dès lors libre et les pêcheurs ne sont soumis à aucune discipline. En l'absence du « maître des eaux », un rôle prépondérant échoit aux chefs de campement dans l'organisation et la gestion de la pêche. Ils usent de leur influence auprès des autres pêcheurs pour faire des observations ou interdire certaines pratiques. Leur implication peut être renforcée par les autres organisations sociales, du type association ou coopérative des pêcheurs. Ces structures, malgré leurs difficultés internes de fonctionnement, constituent des plates-formes efficaces d'intervention, d'appui au développement et des créneaux de diffusion de l'information. La pérennité et la rentabilité de l'exploitation dépendront de la capacité de ces différentes instances à définir les règles et les modalités spécifiques de gestion de leur ressource. Elles peuvent bénéficier de la collaboration des agents techniques étatiques ou des collectivités décentralisées chargés de la protection de l'environnement et de la gestion des ressources naturelles.

Equipements : pirogues et engins de pêche

10 Dans la pêche à Manantali, la pirogue est un facteur essentiel de la production. Les pirogues simples (pour la pêche) ou motorisées (pour la commercialisation du poisson et le ravitaillement des pêcheurs) sont confectionnées sur place à l'aide de planches à base d'essences locales. Chaque ménage dispose au moins d'une pirogue simple et leur nombre fluctue avec celui du nombre de pêcheurs actifs par ménage, à raison de deux pêcheurs par pirogue (fig. 4). Les engins sur le site sont constitués essentiellement de filets maillants, de palangres et d'éperviers. Les filets maillants représentaient près de 70 % des équipements des ménages en 1997. Ce sont les engins les plus couramment utilisés et les plus représentatifs de l'activité de pêche. Leurs variations saisonnières traduisent directement l'évolution de l'effort de pêche sur la retenue (Alhousseini, *ibid.*). Certains ménages sont spécialisés exclusivement dans la pêche aux palangres et d'autres (surtout

les saisonniers) dans la pêche à l'épervier. Cette dernière pratique, très saisonnière, est limitée à la partie amont de la retenue.

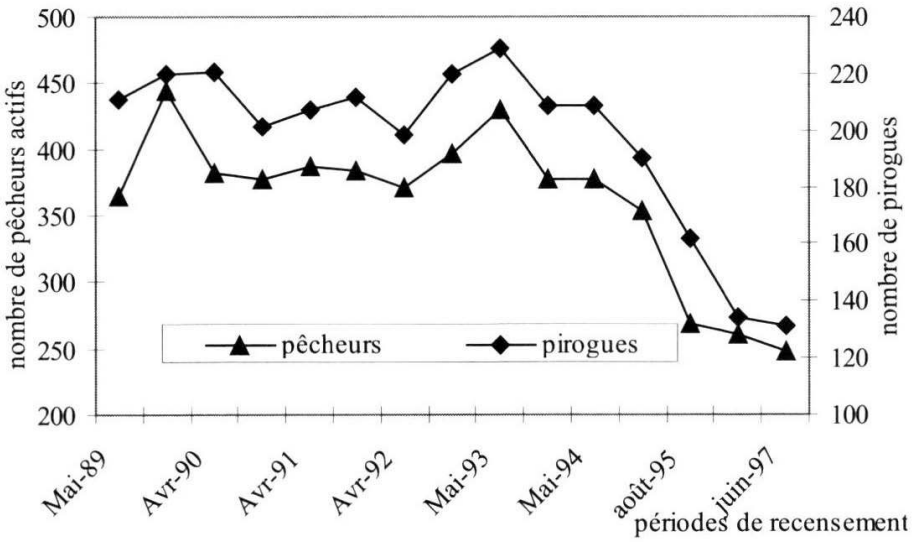


Figure 4. Variation de l'effectif de pêcheurs et du nombre de pirogues.

Les stratégies et les tactiques d'exploitation

11 Les pêcheurs migrants, forts de leur tradition et de leur expérience multiséculaire de pêche, sont dotés d'importantes capacités adaptatives perceptibles au niveau des initiatives individuelles ou collectives et de divers réajustements comportementaux. Leurs stratégies intègrent à la fois la connaissance du milieu et du comportement des espèces. Ainsi le choix des engins et des techniques est une réponse tactique aux conditions environnementales et socio-économiques du lieu et du moment. A Manantali, on note d'une part, l'abandon des engins lourds (sennes de rivage) au profit des filets dormants, des palangres et des éperviers au coût plus modeste, faciles à manœuvrer et exigeant peu de main d'œuvre, et d'autre part, l'intensification de l'effort de pêche par une plus grande mobilité des pêcheurs et l'absence de saisonnalité dans les pratiques (notamment pour les filets et les palangres). Certaines techniques de pêche très sélectives sont orientées vers la capture d'espèces ciblées. Ainsi la « pêche au bruit », utilisant les filets à grandes mailles, est destinée à la capture de gros spécimens de tilapia (*Sarothreodon*) ; la pêche aux palangres vise exclusivement les *Lates niloticus* (perche du Nil ou capitaine) tandis que les éperviers sont destinés à la capture de gros spécimens d' *Hydrocynus spp.* et de *Brycinus macrolepidotus*, qui sont toutes des espèces de haute valeur commerciale.

12 Ces divers choix tactiques ont abouti à une homogénéisation et une individualisation des techniques et pratiques de pêche sur le site.

La filière poisson à Manantali

13 La production et la commercialisation du poisson font intervenir de nombreux acteurs (pêcheurs, ramasseurs, intermédiaires, grossistes...) et constituent un réseau complexe d'inter-relations socio-économiques où chacun joue un rôle précis. Au milieu de ce réseau

se trouve logiquement le pêcheur (fig. 5). Il est au début d'une chaîne de production de ressource alimentaire, de création de richesse et d'emplois. En amont de la production se trouvent les fabricants et fournisseurs d'équipements de base (engins et matériels divers de pêche), et en aval les ramasseurs de poisson, les commerçants et les consommateurs. Ce rôle économique prépondérant garantit au pêcheur une valeur et une fonction sociales incontestées.

14 Les commerçants-collecteurs de poissons sont dotés de pirogues motorisées et pourvues de bacs à glace (vieilles caisses isothermes de congélateurs ou de réfrigérateurs). En l'absence d'unité de fabrique de glace, les ramasseurs s'approvisionnent en glace auprès des ménages de la cité des cadres de l'OMVS dotés d'électricité. Ils s'organisent en groupes d'activité et sillonnent le plan d'eau pour collecter la production des pêcheurs. Chaque groupe a ses campements privilégiés et organise ses rotations. Les délais de livraison sont de plus en plus courts, quotidiens (pour le poisson frais) et bimensuels à hebdomadaires (pour le poisson fumé ou séché). Le poisson acheté au producteur (pêcheur) est livré aux grossistes – ou mareyeurs – à Manantali. Quelques rares collecteurs convoient eux-mêmes leur poisson jusque sur les différents marchés. Les ouvriers sont chargés des opérations de manutention aux débarcadères et aux marchés. Ils assurent aussi le transport des caissons de glace de la cité de Manantali aux débarcadères sur une distance de près de 3 km. Après les opérations courantes de pesées et d'enregistrements, les paquets sont chargés dans des camionnettes et convoyés à la gare ferroviaire de Mahina, située à 87 km de Manantali. Outre le marché local de Manantali, le poisson (frais, fumé ou séché) est distribué sur les marchés de Bamako à l'est, de Kayes à l'ouest, de Nioro au nord et de Kéniéba au sud. La ville de Kita, grâce à sa position sur la voie ferroviaire Dakar-Niger, pourrait devenir un important centre de transit lors de l'ouverture de la route Manantali-Kita-Bamako.

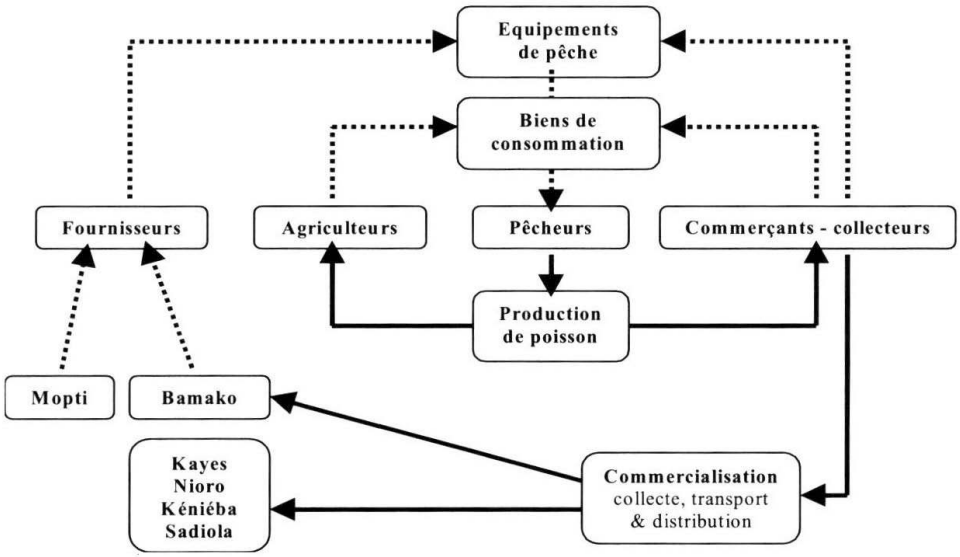


Figure 5. Schéma simplifié de la filière poisson à Manantali. Traits pointillés : circuit d'approvisionnement en matériels de pêche, de ravitaillement en céréales et denrées de première nécessité. Traits pleins : circuit de production, d'échange, de collecte et de distribution du poisson.

L’activité de pêche et ses contraintes à Manantali

15 La pêche à Manantali, une activité en plein essor, connaît de nombreuses difficultés d’ordre matériel, socio-économique et environnemental. Ces difficultés, dont la cause principale réside dans l’enclavement du site, constituent de véritables goulets d’étranglement au développement et à l’épanouissement de la pêche sur le site (fig. 6).

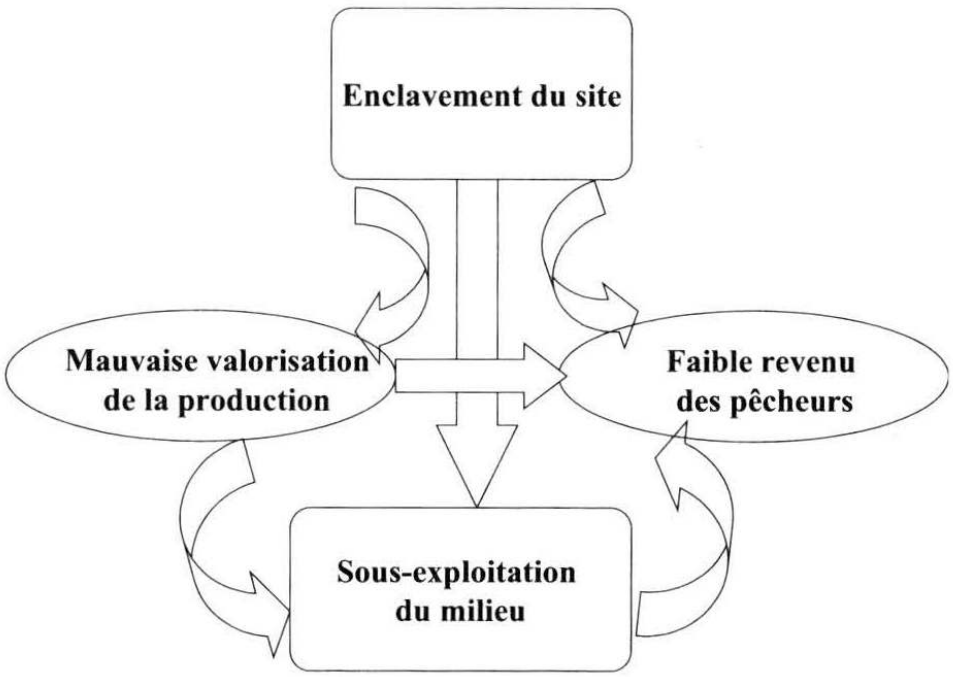


Figure 6. Caractéristiques de l’activité de pêche à Manantali.

16 Les pêcheurs migrants arrivent sur le site complètement démunis et l’accès aux moyens de production (pirogue, filets…) constitue leur principale difficulté. Une pirogue simple coûte en moyenne 60 000 à 100 000 F CFA et les filets sont hors de prix : un filet de 100 yards[3] coûte entre 40 000 F CFA et 65 000 F CFA (presque le double sur les autres marchés) (Alhousseini, *ibid.*). Ainsi, le coût élevé du matériel d’équipement constitue un facteur limitant à l’insertion des pêcheurs dans l’activité et contribue à la détérioration de leurs revenus. Le phénomène se trouve amplifié par la mauvaise valorisation de la production (Gret, 1993). En effet, malgré une production conséquente (12 tonnes par ménage par an), nettement supérieure au niveau de production des ménages installés sur les autres plans d’eau du Mali – comme dans le delta intérieur ou encore la retenue du barrage de Sélingué –, les pêcheurs de Manantali ont le revenu le plus bas (Laë et Weigel, 1995 ; Alhousseini, *ibid.*). Ce paradoxe s’explique par le prix bas pratiqué aux producteurs du fait de la difficulté d’accès au site. En effet, l’insuffisance des moyens de conservation et de stockage du poisson et l’absence de moyens rapides de transport pour la collecte et la distribution constituent autant de difficultés auxquelles il faut ajouter les charges trop lourdes récurrentes au transport et à la conservation du poisson (dépenses en glace et en carburant). La conjonction de ces facteurs influe négativement sur le niveau des prix d’achat aux pêcheurs, entraînant la détérioration de leurs revenus et la dégradation de leurs conditions de vie.

Conclusion

17 La pêche à Manantali est une activité nouvelle caractérisée par une sous-exploitation des potentialités du milieu et une production peu valorisée. Elle constitue cependant une source substantielle d'emplois et de revenus pour les pêcheurs, et contribue à l'amélioration de l'équilibre alimentaire des communautés locales (apport de protéines). Son développement et son insertion dans le tissu socio-économique de la zone vont dépendre du degré d'organisation des différents acteurs et de la réglementation locale de leur activité.

18 Le milieu étant fondamentalement différent dans son fonctionnement hydrologique par rapport aux espaces auxquels les pêcheurs étaient habitués (fleuves, plaines d'inondation et mares), ils ont dû montrer une grande capacité d'innovation technologique pour adapter les engins et les pratiques à ce nouvel environnement, en même temps que des initiatives pour définir des règles et des modalités spécifiques de gestion, les dispositions réglementaires en matière de pêche au Mali leur garantissant cette opportunité. Cependant, l'éloignement de la zone de production par rapport aux principales zones potentielles de marché entraîne de grandes difficultés en approvisionnement de matériel de pêche, de conservation et de transport du poisson, d'où des coûts élevés et donc un prix d'achat du poisson aux producteurs d'autant plus faible du simple fait de la loi de la concurrence. Pour cela, il est urgent que les pêcheurs disposent d'organisation (structures coopératives et associatives) pour défendre leurs intérêts devant les spéculateurs marchands.

19 Une intervention extérieure dans l'organisation de la pêche à Manantali se justifie alors par cette nécessité pour les collectivités locales, de pêcheurs et autres, de tirer le maximum (écologiquement autorisé) de la ressource halieutique afin de lutter efficacement contre la sous-alimentation et la malnutrition. Elle doit assurer une meilleure productivité naturelle du lac (mesures écologiques) dont dépendra la production piscicole, et une meilleure valorisation de celle-ci afin d'améliorer les conditions de vie des pêcheurs artisans (mesures socio-économiques).

20 Les efforts internes des pêcheurs doivent être accompagnés et soutenus par :

- une politique d'appui à l'équipement et à l'accès aux crédits bancaires ;
- un encadrement et une formation des pêcheurs pour faciliter l'introduction et la vulgarisation des nouvelles techniques ;
- une amélioration des conditions de travail des commerçants en les dotant d'infrastructures (magasins), de moyens de conservation (unité de fabrique de glace) et de transport rapide du poisson frais ;
- un organe de gestion de la ressource où les pêcheurs seront fortement impliqués auprès des agents techniques ; cet organe pourrait être chargé de l'élaboration (concertée) et de la conduite des mesures réglementaires en matière de pêche.

21 Ces différentes mesures interpellent dans leurs interventions de proximité l'Etat, les ONG (organisations non gouvernementales) et les différents partenaires mobilisés par la réalisation d'un développement socio-économique régional à partir d'une exploitation durable des ressources naturelles renouvelables.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Alhousseini S., 1992 – *Approche socio-économique de l'activité de pêche sur la retenue d'eau de Manantali.* Mém. DEA, Isfra, univ. Mali, Bamako, 70 p. + annexes.

Alhousseini S., 1999 – *Peuplement ichtyologique et exploitation des espèces d'intérêt halieutique de la retenue d'eau de Manantali (Mali).* Thèse doct, univ. Provence, Marseille, 227 p.

Alhousseini S. *et al.*, 1995 – Du fleuve au Lac : adaptation de la pêche traditionnelle des Bozo et Somono aux conditions nouvelles du lac de retenue de Manantali (Mali). *Écologie humaine,* 13 : 147-153.

DNAER, 1997 – *Schéma directeur du développement de la pêche et de la pisciculture.* Forum national sur la pêche et la pisciculture, Bamako, Mali, 51 p.

DNHE et GTZ, 1989 – « Annexe 6 : pêche ». *In : Utilisation des potentialités de l'aire du barrage,* rapport final : 39-40.

Fay C, 1989a – Sacrifices, prix du sang, « eau du maître » : fondation des territoires de pêche dans le delta central du Niger. *Cah. Sci. Hum.,*25 (1-2) : 159-176.

Fay C, 1989b – Systèmes halieutiques et espaces de pouvoirs : transformation des droits et pratiques de pêches dans le delta central du Niger (Mali) 1920-1980. *Cah. Sci. Hum.,* 25 (1-2) : 213-236.

Gret, 1993 – *Conserver et transformer le poisson.* Doc. du Groupe de recherche et d'échanges technologiques, Paris, coll. Point sur : 12-26.

ISH, 1990 – *Étude de l'économie domestique dans la zone de Manantali.* Rapport final, Institut Sciences Humaines, univ. Mali, Bamako : 4-82.

Kassibo B., 1988 – « La dynamique de la pêche dans le delta intérieur du fleuve Niger (Mali) de la période précoloniale à nos jours ». *In* Kawada J. (éd.) : *Boucle du Niger, approches multidisciplinaires,* Institut de recherches sur les langues et cultures d'Asie et d'Afrique, Tokyo, 1 : 167-189.

Kassibo B., 1990 – *Expériences et perspectives de l'aménagement traditionnel et moderne des pêcheries du Mali : le cas des pêcheurs Bozo et Somono du delta central du Niger (cinquième région).* Rapport FAO, délégation du Mali, Bamako, 445 : 111-120.

Laë R., Weigel J.-Y., 1995 – *La retenue de Manantali au Mali : diagnostic et propositions d'aménagement.* Rapport Pamos, MLI/91/005, 65 p.

OMVS, 1993 – *Quelques aspects des conditions écologiques et quelques données socio-économiques de la pêche dans la retenue du barrage de Manantali.* Doc. OMVS, Bamako, 8 p + annexes.

NOTES

1. Oligomictique qualifie un milieu dont les eaux ne sont mélangées que pendant une courte période de l'année.
2. Oligotrohe et mésotrophe indiquent différents degrés d'enrichissement d'un milieu en sels nutritifs (nitrates et phosphates notamment). Oligotrophe qualifie un milieu pauvre en sels nutritifs et de faible production biologique ; mésotrophe qualifie un milieu de richesse et de production moyennes, c'est un stade d'enrichissement intermédiaire entre un milieu oligotrophe et un milieu eutrophe excessivement riche en sels nutritifs et de forte production.
3. Yard : mesure de longueur anglo-saxonne équivalant à 0,914 m.

AUTEUR

SOUMANA ALHOUSSEINI

Géographe. Isfra, BP E 475, Bamako, Mali, soumana@bamako.ird.ml

Gestion des pâturages et des conflits liés à l'utilisation des ressources naturelles

Commune de Madiama (Mali)

Amadou Kodio

1 A l'instar de la zone sahélienne, la commune de Madiama, située à la limite sud du delta intérieur du Niger, a connu pendant les 30 dernières années une dégradation continue des conditions climatiques et des ressources naturelles. L'augmentation des populations humaines et animales a remis en cause l'exploitation traditionnelle de l'espace. De ces situations, il en est résulté une concurrence de plus en plus forte entre agriculteurs au sein d'un même système de production, et entre agriculteurs, éleveurs, exploitants de bois, pêcheurs et autres au sein de systèmes de production différents (Traoré *et al.*, 1999). Ces concurrences ont amené dans la région des conflits de toutes natures – des latents aux plus violents – liés à l'utilisation des ressources naturelles renouvelables (ESPGRN-Mopti, 1996). Cette étude met en évidence la prédominance des conflits entre éleveurs et agriculteurs.

2 Par ailleurs, les enquêtes participatives et d'opinion du projet Sanrem (2000) ainsi que nos propres investigations sur les ressources agricoles et pastorales ont révélé des situations préoccupantes dans la commune de Madiama où les principales ressources naturelles sont très limitées.

Présentation de la zone d'étude

3 La commune rurale de Madiama appartient au cercle de Djenné situé en cinquième région du Mali (région de Mopti). Elle regroupe 10 villages et couvre une superficie de 16 700 ha. Elle fait partie de l'hydrosystème deltaïque caractérisé par ces riches potentialités agro-sylvo-pastorales et halieutiques. Par suite de trois décennies de sécheresse, la commune s'est retrouvée en limite de zone inondable et constitue maintenant une zone de transition avec les régions toujours exondées. Sur le plan climatique, les pluies annuelles

dépassent rarement les 450 mm et ne durent que 3 mois et demi, de juin à mi-septembre. Les températures sont très élevées et atteignent 45 °C en avril / mai.

4 Les populations sont agricoles à 70 % ; on y trouve aussi des éleveurs transhumants, quelques pêcheurs, des artisans et des commerçants. La population totale s'élève à 21 900 habitants dont environ 60 % d'actifs. Sur le plan ethnique, les Markas et Bambaras sont dominants ; les Peuls représentent moins de 15 % de la population totale et sont principalement localisés dans 3 villages de la commune. Les autres ethnies sont les Bobos, Bozos, Rimaïbés... Les principaux systèmes de production sont agropastoraux, pastoraux et agro-piscicoles. Les cultures de céréales (mil, sorgho, riz), de légumineuses (arachide, voandzou...), de pastèques sont pratiquées sur des sols sableux, argileux à limono-sableux exondés ou hydromorphes.

Les ressources naturelles et les stratégies d'utilisation

5 Deux transects à travers la commune a permis de collecter des données sur les ressources naturelles, leurs utilisations ainsi que les occupations de l'espace (tableau 1). Les principales utilisations sont d'ordre agricole et se catégorisent par type de sols. A l'intérieur de ces grands ensembles, il existe des micro-variations plus au moins importantes selon les villages et la distance du village par rapport aux zones de crues.

Tableau 1. Occupations de l'espace et ressources naturelles.

Zones	savane arborée	savane arbustive et/ou arborée	savane herbeuse
Sols	sableux à sablo-argileux	argileux à argileux-limoneux	argileux - hydromorphes
Occupations	- champs de cultures sèches (mil, sorgho, arachide, niébé...) - pâturages - jachères - habitations	- champs de cultures sèches (sorgho, gombo, niébé) - jachères - pâturages d'hivernage - habitations	- champs de riz - pâturages à bourgou - pêcheries - pâturages de début et après hivernage
Végétation	*Vitellaria paradoxa, Acacia albida, Guiera senegalensis, Sclerocarya birrea, Balanites aeguptium, Parkia biglobosa, Cenchrus biflorus, Eragrostis tremula, Schoenfeldia gracilis, Zornia glauchidiata, Pennesetum peddicellatum*	*Acacia albida, Ficus spp., Vitellaria paradoxa, Acacia seyal, A. nilotica, Ziziphus mauritiana, Piliostigma reticulatum, Cenchrus biflorus, Eragrostis tremula, Schoenfodia gracilis, Zornia glauchidiata, Pennesetum peddicellatum, Cassia tora, Cassia occidentalis, Ipomea rupens, Andropogon gayanus*	*Echinochloa stagnina, Oryza barthii, O. Longistaminata, Strichopus spinosa, Vetireria nigritana, Acacia spp., Piliostigma reticulatum, Ipomea repens, Sorghum trichopus, Brachiaria mutica, Panicum subalbidum, ...*
Animaux	oiseaux, lièvres, écureuils	oiseaux, lièvres, écureuils	oiseaux, poissons, reptiles (varans, serpents)
Contraintes	- dégradation rapide car cultivés en permanence - besoins d'utilisation permanente de fumier pour continuer à produire - présence de sautériaux et d'oiseaux	- baisse de fertilité (peu fertile) - divagation des animaux - ruissellement - présence de ravageurs divers	- infiltration limitée et lente des pluies - labour profond (bœufs forts) - apports intrants exigés - entretien important - présence de nuisibles des cultures (adventices, oiseaux...)
Potentialités	- réponse rapide à la fertilisation - travail du sol facile - entretien limité - culture de pastèques - exploitation de bois	- bonne réponse à la fertilisation - productions plus diversifiées (plusieurs cultures, notamment le gombo) - terres encore structurées assez fertiles - pâturages (jachères assez herbeuses) - exploitation de bois	- réserve en eau de surface (abreuvement des animaux) - culture de rente (riz, gombo) - sources de protéines (poisson) - pâturage abondant (bourgou et espèces affiliées) - revenus divers (vente de bourgou, poissons et riz...)

6 La plus grande diversité de sols se trouve dans les terroirs villageois proches du fleuve, où également les activités pastorales sont les plus importantes à cause des nombreuses parcelles rizicoles et des bourgoutières qui sont actuellement plus ou moins dégradées du fait de la faiblesse des crues mais aussi de leur surexploitation.

Les systèmes d'élevage

7 Dans la commune, on rencontre des agro-pasteurs sédentaires et des éleveurs transhumants dont 85 % des revenus y proviennent de l'élevage. On note aussi que parmi les 15 % de l'ethnie peule que compte la population, moins de 5 % pratique le système pastoral et que les agro-éleveurs sédentaires occupent plus de 85 % des systèmes de production. Le cheptel – composé de bovins, ovins, caprins, âsins, équins et volailles – est exploité selon 2 modes principaux :

- *le type sédentaire* composé de petits ruminants et de bœufs de labour ; ce mode d'élevage constitue la source principale de fumure, il est pratiqué par les agriculteurs sédentaires et les troupeaux sont conduits généralement par des enfants ou des bergers salariés ; le cheptel sédentaire avoisine 650 bovins, 1 486 ovins et caprins, 85 âsins, 22 équins ;
- *le type transhumant* constitué surtout de troupeaux de bovins, il est l'œuvre des Peuls ; le cheptel transhumant comporte les bovins des sédentaires agriculteurs et les troupeaux des Peuls ; durant leur période de présence dans la commune, le nombre de bétail est extrêmement élevé, les conflits sont alors liés aux périodes de présence de ces transhumants dans les terroirs villageois ; ils séjournent sur les pâturages d'hivernage (pâturages secs hors de la commune) de juillet à mi-octobre, sur les résidus de récolte de mi-octobre à décembre (environ 3 mois) et sur les résidus de riz et les bourgoutières jusqu'au mois de juillet (soit durant 7 mois) correspondant à la période des semis et des levées de cultures.

8 Ainsi les 2 principales périodes de conflits entre agriculteurs et éleveurs se produisent durant la descente dans le delta au moment des récoltes des cultures sèches et des rizières qui occupent souvent les *bourtols,* et au moment de la remontée des troupeaux vers les pâturages exondés, période qui coïncide aux moments des semis et des levées de cultures. Ces conflits surviennent donc lors du processus général de l'exploitation des ressources naturelles agricoles par deux fois au cours du cycle annuel (récoltes puis semis et levées). Ils sont totalement liés au mode d'élevage transhumant régi par des déplacements permanents.

Les ressources pastorales

9 L'alimentation du bétail, à l'instar de la majorité du Mali, provient des pâturages naturels et des résidus de récolte. Dans la commune de Madiama, il a seulement été fait un inventaire qualitatif de ces ressources pastorales.

Les pâturages naturels

10 Les pâturages naturels sont réduits à des poches dérisoires ne pouvant même pas faire vivre les petits ruminants à l'intérieur de la commune. A un moment donné de l'année (à partir du mois d'août), une partie des troupeaux – y compris les bœufs de labour – va pâturer hors de la commune. Par ailleurs, les cultures extensives et les fortes concentrations d'animaux sur les espaces pastoraux restreints ont provoqué une très forte dégradation des pâturages qui donnent moins de 500 kg de matières sèches par hectare et par an (Togola, 1995). Les espèces pastorales recensées sont constituées d'arbustes et d'herbacés annuelles et quelques pérennes dans les zones inondables (tableau 1). Au niveau des pâturages liés aux sols gravillonnaires à sablonneux des dépôts

éoliens, on note *Piliostigna reticulatum, Acacia seyal, Acacia nilotica, Ziziphus mauritiana, Anogeissus leocarpus,* parmi les arbustes tandis que *Acacia albida* est naturellement présent dans les abords de tous les villages. Les principales herbacées rencontrées sont *Schoenfelfia gracilis, Eragrostis tremula, Cenchrus bilflorus, Cassia occidentalis, Cassia tora, Zornia glauchidata, Tribulus terrestrus, ...*

11 Sur les sols hydromorphes, la principale espèce dominante est le bourgou (*Echinochloa stagnina*), le plus souvent accompagné par les riz sauvages (*Oryza barthii et Oryza longistaminata*). On y recense aussi *Sorghum trichopus* (qui est une andropogonée pérenne) et *Vetiveria nigritana.* Ces 2 dernières sont présentes sous forme de plages ou isolées. Parmi les ligneux, on trouve des *Acacia, Piliostigna* et *Mytragina inermis.*

12 Au niveau des champs de céréales, on rencontre surtout *Acacia albida, Combretum gazalense, Guiera senegalensis, Balanites aegytiaca* avec quelques pieds isolés de *Parkia biglobosa, Tamarindus indica, Sclerocaria birrea.* Plusieurs de ces arbres sont émondés, parfois très sévèrement, pour la nourriture des animaux. Au niveau de Madiama, les acacias souffrent de pratiques abusives et continuelles d'émondage systématique tous les ans.

Les résidus de récoltes et sous-produits agro-industriels

13 Les résidus de récoltes sont essentiellement constitués de résidus pauvres de paille de mil, sorgho, riz et faiblement de résidus riches de fanes d'arachide et de niébé. Ils couvrent les besoins alimentaires des troupeaux durant à peine 2 mois et demi. Le seul sous produit agro-industriel utilisé dans la commune est l'aliment bétail composé de tourteau et de coques de graines de coton. Ce produit n'est que très exceptionnellement utilisé pour nourrir quelques laitières car son prix élevé et son lieu de fabrication éloigné du site de consommation le rendent peu accessible aux éleveurs. Malgré ces ressources limitées, les pratiques de productions agricoles sont demeurées extensives et deviennent antagonistes et conflictuelles dans l'espace communal.

Conflits liés à l'utilisation des ressources naturelles

Types et causes des conflits

14 Les conflits identifiés sont ceux opposant agriculteurs et éleveurs (sédentaires et transhumants), agriculteurs et agriculteurs du village aux terroirs voisins. Des litiges peuvent également survenir de façon latente autour des refus de prêts de champs, d'accès des produits aux femmes. Il existe aussi des conflits sociaux (chefferie, vol, etc.). Dans ce qui suit, l'accent est mis sur les conflits entre les éleveurs et les agriculteurs qui représentent les 2/3, soit 53 conflits recensés dans la zone de 1990 à 1997. Les litiges entre les agriculteurs et les éleveurs sont les plus durs. Les causes de ces conflits sont multiples et proviennent entre autres :

- de la revendication du droit de propriété coutumière d'un espace donné, présumé champs de cultures ou pâturages ;
- de la destruction d'un champ de culture par les troupeaux bovins due soit à l'occupation anarchique des espaces pastoraux par les champs de culture (l'extension des champs de cultures dans les maigres pâturages et les bourtols), soit à la négligence ou à l'insouciance de

certains bergers peuls ; c'est ce que l'on a souvent appelé le problème de « migration des champs de culture ou des animaux » selon que l'on soit éleveur ou agriculteur (Djiré, 1996).

15 Ces derniers problèmes naissent de la concurrence entre les acteurs de deux systèmes de production pour assurer une plus grande propriété foncière en occupant le maximum d'espace (pour ce qui est des agriculteurs) ou en dévastant les champs de cultures pour signifier une certaine propriété sur l'espace (pour ce qui est du cas des éleveurs). Il s'agit dans les deux cas d'un problème d'appropriation et de sécurité foncière des systèmes de production coexistants. Quelques conflits sont dus aussi au refus de payer le droit d'accès ou au non-respect des ordres de préséance d'accès aux bourgoutières (ce qui constituent des sources de conflits surtout entre éleveurs). Les conflits liés aux pertes d'animaux confiés aux Peuls par les agriculteurs surviennent parfois mais sont de très moindre intensité par rapport aux précédents. Dans la majorité des cas, le problème de l'appropriation et de la sécurité foncière des systèmes de production coexistant se trouve posé. Certains éleveurs pensent que la pauvreté a quelques responsabilités dans ces conflits.

16 L'analyse des conflits faite sur une période de 7 ans, de 1990 à 1997, à partir des minutes des tribunaux du cercle de Djenné a montré que 77 % des conflits relèvent de la revendication du droit de propriété, 23 % se rapportent à la revendication du droit d'usage. L'évolution interannuelle de ces conflits est présentée dans le tableau 2. On note une absence de conflits au niveau des tribunaux en 1996 et 1997. D'après les populations, elle est due à l'organisation systématique de rencontres locales de fixation de calendriers des déplacements des transhumants pendant leur descente dans les bourgoutières, tout en exploitant les résidus de récoltes, et aussi à la prise de conscience par les populations que les solutions judiciaires trouvées à leurs différents sont rarement acceptées. En effet, les récidives représentent 78 % des cas traités par l'administration contre 22 % pour ceux traités localement (ESPGRN-Mopti, 1996). Cette assertion trouve sa confirmation dans les enquêtes socio-économiques (Sanrem, 2000) menées dans la commune rurale de Madiama qui ont montré que plus de 85 % des 247 exploitations dont 147 femmes, sont favorables aux règlements locaux des conflits.

Tableau 2. Évolution des causes des litiges fonciers dans la zone d'étude de 1990 à 1997 (en nombre de conflits par an).

Causes	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Total	%
Revendications du droit de propriété	9	7	10	7	2	6	-	-	41	77
Revendication du droit d'usage	3	2	5	1	0	1	-	-	12	23
Total	12	9	15	8	2	7	-	-	53	100

Source : Enquêtes ESPGRN-Mopti, 1997.

17 A ces deux niveaux d'intervention – interne (local) ou externe (administration) –, il correspond plusieurs instances de résolution des conflits dont les principales sont :

- *pour les instances locales* : les propriétaires fonciers pour l'entrée dans leur domaine, les maîtres des eaux pour l'utilisation des mares à bourgou, le conseil de village (le chef de village et ses conseillers) pour tous les conflits fonciers, les chefs religieux (pasteurs,

imams...) intervenant surtout pour tous les conflits sociaux (divorces, mésententes au sein d'une famille, héritages) ;

- *pour les instances externes* : de plus en plus, l'administration est représentée par les élus locaux, mais on trouve également le représentant de l'Etat (*i.e.* délégué du Gouvernement) ou le juge de paix.

18 Le conseil de village et les propriétaires fonciers sont les instances essentielles pour le règlement des conflits. En effet, souvent les élus locaux n'ont pas les compétences institutionnelles requises pour gérer les conflits fonciers dans les communes rurales où les droits coutumiers ont encore un enracinement assez profond. Dans la commune de Madiama, de 80 % à 90 % de la population, y compris les élus, ne connaissent ni le code forestier ni le code domanial. Par ailleurs, 85 % des élus ne connaissent pas le code des collectivités territoriales qui les régissent (Kodio *et al.*, 1999).

Périodes des conflits liés à l'utilisation des ressources pastorales

19 Les conflits entre éleveurs et agriculteurs n'interviennent pas seulement avec les transhumants mais aussi avec les sédentaires. C'est pourquoi les conflits sont quasi permanents tout au long de l'année en fonction des utilisations des ressources du milieu par les différents exploitants. Mais ils sont accentués pendant les mouvements de transhumance, qui coïncident aux périodes de récoltes et de levée des semis (tableau 3). Les conflits avec les exploitants de bois sont liés aux coupes des essences que les agriculteurs préservent dans leurs champs ; ces agriculteurs se considèrent propriétaires exclusifs des bois coupés. Tout ramassage de bouses de vache sur les champs sans autorisation, surtout dans les champs des agriculteurs, entraîne des mésententes qui peuvent aboutir à des conflits débouchant sur des rixes avec les femmes peules dont la principale source d'énergie de chauffe est la bouse de vache. S'agissant des riziculteurs, ils ne peuvent récolter leur riz qui atteint la maturité que bien après l'arrivée des transhumants ; les animaux causent souvent des dégâts dont l'évaluation des dommages est toujours un point de désaccord entre les protagonistes.

Contraintes de gestion des conflits

20 La gestion des conflits dans cette commune est d'autant plus compliquée que les espaces pastoraux sont diffus et éparses. Ils se limitent aux terrains que les agriculteurs veulent laisser pour cause d'épuisement en jachères ou les parties incultes. Même les espaces autrefois présumés destinés à l'élevage, y compris les passages des animaux appelés « *bourtols* » en peul, sont occupés anarchiquement par des champs de cultures. Dans la commune de Madiama, 13 poches de pâturages ont été dénombrées pour une superficie totale d'environ 700 à 800 ha avec une productivité primaire moyenne de 900 kg de matières sèches à l'hectare pour une capacité de charge instantanée de 3 à 5 ha an^{-1} par UBT (Assarki et Kodio, 2000). Cette réduction des pâturages provoque également une fuite des animaux dans les champs de cultures. Notons aussi que le groupe ethnique peul (minoritaire avec 15 % de la population contre 85 % pour les ethnies agricoles), est peu associé aux décisions d'occupation de l'espace.

Tableau 3. Chronogramme et causes des conflits entre éleveurs et agriculteurs dans la commune de Madiama.

Types de conflits	Causes	Périodes
Agriculteurs / Eleveurs	• casiers rizicoles : récoltes des cultures de riz • bourgoutières : arrachage du bourgou	janvier à mars
Exploitants bois / Agriculteurs / Eleveurs	coupe et ramassage des bois de chauffage : exploitation des bois verts	avril à mai
Agriculteurs / Femmes / Agro-éleveurs	ramassage des bouses de vaches	novembre à mai
Eleveurs / Agriculteurs	sortie des animaux du delta intérieur	juillet à août
Eleveurs / Agriculteurs	récoltes des céréales sèches, descente des animaux dans le delta	octobre à décembre

Source : Enquêtes IER/Sanrem-CRSP, 1999.

21 D'autres types de conflits sont liés à des contraintes d'ordre matériel, technologique, voire même social. En effet, les techniques d'intensification des productions agricoles rencontrent le plus souvent des problèmes d'adoption liés aux faiblesses des moyens matériels et financiers des producteurs, et nécessitent alors des entraides importantes au sein de la commune. Il existe encore d'autres types de contraintes telles les difficultés à mobiliser toutes les personnes-ressources à la résolution du conflit. Si ces contraintes d'ordre matériel, technique et social ne sont pas résolues, elles entraînent des conséquences très néfastes sur l'environnement et la qualité de vie des populations. Quelques pistes de résolutions paysannes sont indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4. Contraintes de gestion des conflits.

Contraintes	Conséquences	Hypothèses de solutions paysannes
• Difficultés de mobiliser les personnes-ressources • Difficultés de déplacements • Garder une position inflexible	•Aggravation des conflits •Report de voyages •Absence de solution	•Se secourir mutuellement •Générosité de donner les moyens de déplacement •Faire partager le point de vue des autres (formation et information)
• Limitation des ressources naturelles	•Compétition	•Compréhension mutuelle dans l'utilisation des ressources (concertations et établissement des règles consensuelles d'exploitation)
• Maximisation de l'occupation de l'espace pour l'agriculture	•Disparition des forêts •Réduction de l'espace pastoral	•Fertilisation des sols •Elevage semi-intensif
• Méfiance par rapport au contrôle de l'accès aux ressources par des voisins	•Perte des potentialités réelles d'exploitabilité des ressources dans un objectif d'occupation maximale	•Gestion communale des ressources
• Paiement de taxes qui ne reflètent pas les dégâts (formule inappropriée de constats des dégâts)	•Mésentente •Limite des échanges d'intérêts	•Consensus, entente •Etablissement d'une formule appropriée du coût des dégâts avec implication de tous les acteurs
• Mauvais comportement des exploitants agricoles	•Affrontement entre agriculteurs et éleveurs •Non respect des pistes pastorales •Non respect du calendrier pastoral	•Application du calendrier communal des déplacements des troupeaux sédentaires et transhumants •Sécurisation des bourtols (pistes des animaux) pour leurs accès aux points d'eau et aux pâturages

Source : Enquêtes ESPGRN-Mopti, 2000.

22 Les contraintes listées sont loin d'être exhaustives. Il s'agit uniquement des contraintes des conflits dont les causes sont apparentes, car celles latentes n'apparaissent pas lors de l'instruction judiciaire mais soutendent souvent les relations entre les protagonistes. Les contraintes liées à l'orgueil, le prestige, la concurrence pour le gain, la cupidité sociale sont autant de causes de conflits identifiables (Djiré, 1996) mais difficilement appréhensibles pour proposer des solutions.

Conclusion

23 L'étude sur les pâturages et les conflits liés à l'utilisation des ressources naturelles dans la commune rurale de Madiama a contribué à avoir un aperçu sur la complexité de la gestion des conflits liés à l'usage des ressources naturelles dans un milieu impliquant plusieurs acteurs pour des ressources limitées. Deux types de conflits majeurs sont identifiés : agriculteurs / agriculteurs et éleveurs / agriculteurs. Un certain nombre d'hypothèses pour la recherche de solutions a pu être retenu à l'issue de cette étude :

- la mise en place d'une stratégie d'intégration adéquate des systèmes de production entre eux afin d'éviter une concurrence anarchique pour l'appropriation de l'espace à laquelle on assiste aujourd'hui ;
- l'étude de systèmes d'alimentation appropriés pour le bétail (suivi pastoral et gestion du troupeau) afin de donner une place conséquente à l'élevage ;
- la mise au point d'un outil, d'une institution locale et de l'instauration d'un cadre opérationnel et de concertation dynamique pour une gestion décentralisée des conflits (conformément aux vœux de la population) : cette institution locale doit regrouper les

différents acteurs et partenaires au développement ; elle sera chargée de réfléchir sur la définition de stratégies adaptées à l'exploitation durable de l'espace et des ressources au bénéfice de tous ; elle aura aussi pour rôle de veiller à l'application des consensus dégagés lors des concertations locales et procédera au suivi-évaluation permanent de l'exploitation du foncier et des ressources naturelles changeantes ;

- l'élaboration d'un plan dynamique d'utilisation de l'espace pour les différents systèmes de production est indispensable afin d'éviter les occupations anarchiques.

24 La décentralisation constitue une opportunité pour permettre une plus grande implication des collectivités locales dans la recherche de solutions adaptées à l'épineux problèmes du foncier et de l'utilisation des ressources naturelles renouvelables en général. Les différents systèmes de production en présence sont confrontés à la triste réalité de la réduction continuelle de l'espace, – surtout pastoral –, liée à des contraintes naturelles (sécheresses, pertes de fertilité, animaux nuisibles, etc.), démographiques ou techniques. De plus, certains éléments du système social vivent aujourd'hui de la gestion des conflits fonciers (intermédiaires, administrateurs et juristes qui en font une source de profit intarissable...). Les intérêts sociaux sont donc devenus si antagonistes que la gestion des conflits, et surtout la gestion des pâturages, exige une approche holistique et interdisciplinaire nécessitant l'implication des développeurs, administrateurs, juristes, producteurs, chercheurs, élus locaux...

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Assarki H., Kodio A., 2000 – *La gestion pastorale : évaluation du potentiel fourrager dans la commune rurale de Madiama.* Mém. de fin d'étude IPR/IFRA, univ. Mali, Bamako.

Djiré M., 1996 – *Problématique foncière et institutionnelle de l'utilisation des ressources naturelles dans le delta central du Niger (Mali).* Mém. de d'étude IPR/IFRA, univ. Mali, Bamako.

Kodio A., Touré M. Sidi M., Traoré B., Cissé S., Moore K., 1999 – *Résultats d'enquête de base sur les conflits dans la commune de Madiama.* Doc. Comité des utilisateurs des résultats de la recherche, projet collaboratif IER-Sanrem, Mopti (Mali).

ESPGRN-Mopti, 1996 – *Synthèse des activités de recherche de la campagne 1995-96.* Doc. comité technique régional de la recherche agronomique de Mopti (CTR), IER, Bamako.

ESPGRN-Mopti, 1997 – CTR de Mopti, IER, Bamako. ESPGRN-Mopti, 2000 – CTR de Mopti, IER, Bamako.

IER/Sanrem-CRSP, 1999 – *Rapport du diagnostic participatif (PLLA) réalisé dans la commune de Madiama : les villages de Tombonkan, Madiama et Nérékoro. Mopti 1-14 février 1999.* Doc. IER-Mopti (Mali).

Sanrem, 2000 – *Agriculture durable et gestion des ressources naturelles dans la commune de Madiama, région de Mopti.* Doc. Comité technique régional (CTR) de Mopti, IER, Bamako.

Togola M., 1995 – *Étude des pâturages du périmètre pastoral de Nèrékoro.* Doc. IER-Mopti (Mali), projet de consolidation des acquis des populations (PCAP).

Traoré M., Kodio A., Samaké O., Ballo A., 1999 – *Problématiques foncières et institutionnelles de l'utilisation des ressources naturelles en 5e région (Mopti).* Rapport de recherche IER-Mopti, Mali.

AUTEUR

AMADOU KODIO

Agro-pastoraliste. IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, Amadou.Kodio@ier.ml

Systèmes d'utilisation des ressources naturelles dans la vallée du Sourou (5e Région du Mali)

Odiaba Samaké et Amadou Kodio

1 Les populations de la cinquième région du Mali, comme dans la plupart des régions sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest vivent essentiellement de l'exploitation des ressources naturelles (terres, eau, flore et faune). Par suite de l'influence des facteurs climatiques et de la pression démographique, ce patrimoine ne cesse de se dégrader. Cette dégradation se traduit par l'appauvrissement croissant du capital terre, la diminution des jachères, la surexploitation du couvert végétal et l'intensification du processus de désertification. Le défi à relever par les populations est de parvenir à une utilisation rentable des ressources naturelles tout en évitant leur dégradation à long terme. Pour atteindre cet équilibre, bon nombre de technologies de gestion des ressources ont été développées et introduites par les institutions nationales de recherche et de développement du Mali ainsi que les organisations non gouvernementales. Malgré ces efforts, on assiste à un déséquilibre écologique. Cette situation suscite des réflexions sur l'impact des actions entreprises, le niveau d'adoption de ces actions et la stratégie à adopter par les acteurs de développement et les décideurs pour une gestion durable des ressources naturelles. Pour aider à la résolution de ces problèmes, des études de caractérisation ont été menées dans la région de Mopti pour déterminer les conditions biophysiques, socio-économiques et environnementales gérées par les producteurs et définir leurs contraintes (Samaké *et al.*, 1999 a et 1999 b ; Konaté et Tessougué, 1996 ; Ruthven et Koné, 1995 ; DRSPR, 1992 ; Cissé et Ba, 1990 ; Frahan et Diarra, 1987 ; Pirt, 1983). Ces études devraient permettre d'orienter les décideurs dans la prise de décision concernant l'utilisation des ressources naturelles renouvelables. Cet article fait le point sur les systèmes d'utilisation des ressources naturelles dans la vallée du Sourou en 5e région du Mali.

Présentation de la zone

2 L'étude s'est déroulée dans la vallée de la rivière Sourou située dans une zone agro-écologique du Mali appelée le Samori au SE dans le cercle de Bankass. Les données ont été collectées sur la base des études récentes réalisées dans la zone (Tessougué *et al.*, 1998 ; Konaté et Tessougué, 1996 ; DRSPR, 1992 ; Cissé et Ba, 1990) ou à partir d'enquêtes détaillées effectuées par l'équipe pluridisciplinaire de recherche agronomique de Mopti à travers des questionnaires préparés et administrés aux partenaires (administration, services techniques, producteurs, organisations paysannes, chambre d'agriculture, ONGs...) au cours des entretiens. Ces collectes de données ont porté sur les conditions biophysiques (le climat, les sols, la végétation), socio-économiques (population et main-d'œuvre, systèmes de production agricole), les contraintes d'utilisation des ressources et les stratégies d'intervention, afin de déterminer les contraintes et les stratégies d'utilisation durable des ressources.

Climat, sol et végétation

3 La vallée du Sourou, située dans la commune rurale de Baye entre 13°10' et 13°45' de latitude Nord et 3°45' de longitude Ouest, est une zone agro-écologique couvrant plus de 8 000 km^2 qui recèle de grandes potentialités agro-sylvo-pastorales. Elle appartient au bioclimat soudano-sahélien nord caractérisé par une saison sèche de novembre à mai et une saison pluvieuse de juin à octobre dont la moyenne annuelle se situe aux environs de 500 mm.

4 C'est une zone relativement plate, 200 à 300 m d'altitude. Elle est formée de sols sablonneux à la lisière des zones agro-écologiques du Séno au Mali et du plateau du Yatenga au Burkina Faso, et de sols argileux soumis à un régime d'engorgement saisonnier et de submersion temporaire dans la plaine alluviale. Ces sols sont reconnus acides et pauvres en matière organique et en éléments minéraux N, P, K (tableau 1). La plaine alluviale est traversée par la rivière Sourou qui constitue le principal cours d'eau du cercle de Bankass avec ses bras qui l'alimentent en saison pluvieuse. Les hauteurs de la crue et les débits de ce cours d'eau dépendent des précipitations et aussi de l'influence du barrage de Lery installé en 1987 sur la Volta Noire au Burkina Faso. La végétation est constituée d'une savane arborée et d'une forêt galerie principalement composée de *Anogeissus leocarpus, Acacia seyal, Pterocarpus lucens, Ziziphus mauritiana* et *Mitragyna inermis.* La strate herbacée est dominée par *Vetiveria nigritana* et *Panicum spp* (Konaté et Tessougué, 1996).

Tableau 1. Caractéristiques chimiques des sols dans les villages de Kendé, Oula et Para dans la vallée du Sourou à 0-15cm de profondeur. LAS = limono-argilo-sableux ; SLA = sablo-limono-argileux ; SAL = sablo-argilo-limoneux.

Composition chimique	Kendé	Oula	Para
Matière organique (% C)	0,98	0,52	0,99
Azote total (% N)	0,05	0,04	0,09
Phosphore assimilable (ppm P)	0,38	0,38	0,76
Potassium assimilable (meq/100 g)	22,4	25,4	30,6
pH (H_2O)	5,62	6,40	6,73
pH (KCl)	4,35	4,99	5,79
Classe texturale	LAS	SLA	SAL

Source : Samaké et Bitchibaly, 1999.

Population et main-d'œuvre

5 La population, essentiellement rurale, est organisée en familles élargies et en familles nucléaires. Elle est constituée de deux grands groupes ethniques composés de Samogos et de Dafings, et de groupes minoritaires composés de Dogons, Bobos, Sonraïs, Bambaras et Markas, tous agriculteurs. On trouve aussi des Peuls et Bozos qui sont respectivement éleveurs et pêcheurs. La population active (de 14 à 59 ans) représente 60 % de la population totale avec 7 257 hommes et 5 917 femmes. La population inactive est composée en majorité (tableau 2) de garçons (41 %) et de filles (35 %) de moins de 13 ans et de personnes âgées de plus de 60 ans (13 % hommes et 11 % femmes).

Tableau 2. Population de la vallée du Sourou en 1996 (en nombre et en pourcentage).

Population	moins de 1 an	de 1 à 13 ans	de 14 à 59 ans	plus de 60 ans	Total
effectif	1 110	5 534	13 174	2 058	21 871
pourcentage (%)	5,07	25,30	60,23	9,40	100

Systèmes d'utilisation des ressources naturelles

6 A la faveur de la rivière Sourou et de ses pâturages, cette zone fait l'objet depuis une décennie d'une pression intense de la part des agriculteurs et des éleveurs venant du plateau du Séno et des pêcheurs en provenance du delta intérieur du Niger. La zone a enregistré une augmentation de la population de 21 % de 1987 à 1996 (DRPS, 1987, 1996). En 1996, la densité par rapport aux surfaces agricoles utiles était de 186 habitants par km^2 .

Système d'utilisation des terres

7 La présence des sols hydromorphes dans la vallée du Sourou et des sols exondés à sa lisière augmentent les possibilités de diversification des systèmes de production. Tessougué *et al.* (1998) ont distingué par photographie aérienne les occupations spatiales suivantes : des brousses, des prairies, des terres cultivées, des marais et des eaux (tableau 3). Les terres cultivées sont réparties en champs de cases et en champs de brousse appelés respectivement en langue vernaculaire bambara *soforo et kungoforo.* Tous les ménages ont des champs dans les *soforos* et dans les *kungoforos.* Dans les champs de brousse, l'agriculture est de type extensif. Ce sont dans ces champs que l'agriculture itinérante utilisant le système de jachères est couramment pratiquée pour remédier au problème de pauvreté des sols. Par contre dans les champs de case, le système est du type semi-intensif à intensif : les paysans utilisent de la fumure dont la dose est fonction du nombre de têtes de cheptel et du pouvoir d'achat du ménage. Selon leur type d'exploitation, on distingue les champs communs (*foroba*) appartenant à l'unité de production et les champs individuels (*jonforo*) des hommes et des femmes. L'exploitation des champs communs est effectuée par tous les membres de la famille sous l'autorité du chef de famille appelé *guatigui* (*gua* qui veut dire foyer et *tigui,* responsable).

Tableau 3. Répartition des terres dans la vallée du Sourou (en hectare et en pourcentage).

Occupation spatiale	Superficie (ha)	Pourcentage d'occupation
brousse	357	3 %
prairie	4 507	35 %
terres cultivées	6 088	47 %
marais	844	6 %
eau	1 131	9 %
Total	*12 888*	*100 %*

Source : Tessougué *et al.*, 1998.

8 L'accès aux terres est régi par les droits coutumiers du village qui dépendent de deux principaux éléments de la société rurale : l'organisation socio-historique du village et l'exploitation de certaines ressources due à la migration (transhumance et exode rurale). Dans ces droits coutumiers, seules les familles autochtones sont propriétaires terriens. La terre est attribuée sans contrepartie (en nature ou en espèce) et peut se transmettre de père en fils. Elle est attribuée aux étrangers sous forme d'emprunt par simple contact avec les autorités du village (chef du village, conseillers et chefs des lignages). La terre empruntée n'est jamais vendue ni gardée définitivement. Les travaux d'agroforesterie ou autres aménagements durables ne sont pas autorisés. Ils peuvent être exceptionnellement effectués avec l'accord du propriétaire terrien.

Système de cultures

9 Le système de culture itinérante avec jachère est parmi les formes traditionnelles les plus répandues de restauration de la fertilité des sols. Dans ce système, les jachères de 2-3 ans suivent habituellement 2 à 4 ans de culture (Ruthven et Koné, 1995). La rotation mil / légumineuse, qui maintient ou améliore la fertilité du sol (Fussell *et al.*, 1987 ; Klaij *et al.*, 1994 ; ESPGRN, 1995), est très peu pratiquée. Les fumiers de fermes sont insuffisants et ne peuvent couvrir les besoins des producteurs. Par ailleurs, les engrais chimiques et les produits phytosanitaires sont très peu utilisés à cause de leur coût trop élevé, du faible pouvoir d'achat des producteurs et du manque de lignes de crédit. Sur un type de sol donné, ce sont les mêmes cultures de consommation de base qui sont pratiquées, ainsi par exemple la monoculture de mil / sorgho sur les sols sablonneux et de riz sur les sols argileux. Ces systèmes de productions agricoles provoquent l'épuisement du sol en éléments nutritifs et la prolifération des parasites. Le labour se fait manuellement ou à la charrue à traction bovine. Les principales cultures rencontrées sont le mil et le sorgho exploités dans la lisière de la vallée sur sols sablonneux à sablo-limoneux, en monoculture dans les *soforos* et dans les *kungoforos* ou souvent associés à d'autres cultures dans les *kungoforos.* La culture de maïs se fait sur de très petites superficies autour des habitations et les épis sont généralement consommés frais. L'arachide, le niébé, le vouandzou, le fonio, le sésame, l'oseille et le gombo sont cultivés comme cultures secondaires et de rente. Les variétés utilisées sont surtout photopériodiques, peu productives et sensibles aux parasites. Pour le niébé en cultures associées, les rendements sont de 100 à 150 kg ha $^{-1}$ et de 400 à 600 kg ha^{-1} pour l'arachide et le vouandzou. Les *soforos,* du fait de leur proximité des villages, reçoivent toute la fumure organique produite. Les résidus de récolte provenant de ces champs sont utilisés à des fins domestiques (hangars, clôtures, combustibles) et pour l'alimentation des animaux (Samaké *et al.*, 1999 a).

10 Dans la zone inondée, la riziculture flottante est pratiquée le long des berges du Sourou lors de la remontée de la lame d'eau due à l'aménagement hydroagricole du Lery. En dehors des cultures sèches pratiquées par tous les groupes ethniques, l'essentiel des terres rizicoles demeure entre la main des villageois riverains du Sourou majoritairement constitués de Dafings et de Samogos. Les autres groupes ethniques ainsi que les étrangers ne possèdent pas de terre dans la plaine inondable. Ils vivent du métayage dans le système de riziculture. Le maraîchage est pratiqué de novembre à décembre ; l'oignon, la tomate, le laitue, le gombo, le piment et la pomme de terre en constituent les principales spéculations.

11 Les superficies cultivées ainsi que les rendements sont variables d'une année à l'autre (tableau 4). Les rendements en mil, sorgho et riz sont faibles (de l'ordre de 800 kg an^{-1}) pour l'ensemble des ces 3 cultures qui constituent cependant la base alimentaire des populations. Le mil et le sorgho occupent l'essentiel des terres de cultures, 4 200 ha en moyenne pour chacune contre moins de 2 500 ha pour le riz.

Tableau 4. Évolution des superficies cultivées (en hectares) et des rendements en céréales (en kg an^{-1}) dans la zone du Sourou de 1992 à 1997.

	Mil		Sorgho		Riz	
Année	superficie (ha)	rendement (kg an^{-1})	superficie (ha)	rendement (kg an^{-1})	superficie (ha)	rendement (kg an^{-1})
1992	4 100	700	4 200	800	800	1 000
1993	3 600	650	3 400	700	1 200	900
1994	4 600	750	3 900	850	1 300	900
1995	4 750	740	4 600	840	2 800	800
1996	4 900	790	4 800	830	3 300	900
1997	3 900	790	4 200	830	2 900	890

Système d'élevage

12 Le Samori a été historiquement une zone importante de pâturage pendant la saison humide pour les troupeaux du Séno grâce au Sourou et à la forêt du Samori. Contrairement au Séno, le Sourou est à 65 % exclusivement sous pâturages pluviaux sur sols lourds (CNRA, 1998). Dans cette zone, l'élevage est pratiqué de façon extensive et contribue largement à la sécurité alimentaire, à la force de travail, à la production du fumier, etc. Les principales espèces concernent les bovins, les ovins et les caprins. Les ânes sont élevés pour le transport et la traction animale. Quant à l'aviculture, elle est pratiquée de manière extensive dans toutes les familles. Dans le domaine de la santé animale, le taux de couverture vaccinale reste toujours faible à cause de l'inaccessibilité et du coût élevé des produits vétérinaires. Le traitement contre les parasites internes et externes ne sont pas pratiqués. La production du lait par vache et par jour varie entre 1 litre pendant la saison pluvieuse et 0,5 litre en saison sèche.

Système de pêche

13 La pêche est une activité pratiquée par la population locale et les Bozos venus du delta intérieur du fleuve Niger pour s'installer le long du Sourou. Cette communauté bozo utilise des engins sophistiqués de pêche notamment des filets aux mailles fines et des équipements rudimentaires tels que des harpons ou des simples pièges à poisson. Les activités de pêche nécessitent l'autorisation du *Massa* ou chef coutumier qui a le contrôle et la responsabilité des ressources en eau et l'octroi d'un permis de pêche livré par une institution locale de l'Etat. La saison de pêche débute avec la baisse des eaux. D'août à octobre, la dispersion des poissons avec la remontée du niveau d'eau rend l'activité halieutique peu rentable. Les principales espèces rencontrées sont le *Clarias,* le *Tilapia* et l' *Heterotis.* Les produits de la pêche sont vendus à l'état frais ou sec. Une partie est utilisée pour la consommation familiale.

Ressources forestières

14 La plaine alluviale du Sourou renferme la forêt du Samori qui est l'une des plus importantes réserves de bois de la 5^{e} région (Konaté et Tessougué, 1996). Elle comporte

deux paysages caractéristiques, notamment le paysage associé aux plaines alluviales où les volumes ligneux varient de 10 à 35 m^3 ha^{-1} et le paysage associé aux glacis de dénudation avec un volume de ligneux de 6 m^3 ha^{-1} environ (CNRA, 1998). De nos jours, l'exploitation abusive de la forêt – par les agriculteurs (pour le défrichage) et les chevriers migrants (pour la taille des arbres pour le fourrage) – dégrade la forêt et réduit les ressources forestières de la zone. Ces ressources forestières qui concernent le bois, les fruits, les feuilles, les racines et les écorces sont exploitées par les hommes et les femmes pour des besoins domestiques (combustibles, construction, consommation, pâturage). En plus de ces besoins, les feuilles, les racines et les écorces des arbres sont largement utilisés dans la pharmacopée traditionnelle.

Discussion

Contraintes de production

15 Malgré les énormes potentialités agro-sylvo-pastorales de la vallée du Sourou, qui offre la possibilité de la diversification des activités agricoles, les producteurs de cette zone sont confrontés à des contraintes limitant la production agricole. Parmis ces contraintes, on peut noter la pauvreté des sols, l'insuffisance et la mauvaise répartition des pluies, le droit foncier, l'exode rurale, les attaques des nuisibles (chenilles, cantharides, striga, sautériaux, mildiou, etc.), l'érosion éolienne et le manque d'équipement. En ce qui concerne l'élevage, le manque de ressources fourragères pendant la saison sèche et les maladies sont les préoccupations majeures de la population. Enfin, l'inaccessibilité de la zone, le manque de marché, l'inexistence de certains produits (vétérinaires, pharmaceutiques et phytosanitaires) et le coût très élevé des intrants comparé au coût relativement bas des produits agricoles, réduisent toute tentative d'intensification des systèmes de production. Il existe aussi des contraintes liées à l'insuffisance organisationnelle pour l'approvisionnement en intrants, le manque de lignes de crédits pour l'équipement et la pression démographique sur la ressource foncière.

Stratégies d'intervention possibles

16 Dans la zone du Sourou, la satisfaction des besoins alimentaires et l'amélioration des revenus et des conditions de vie sont les principaux objectifs de production de la population rurale (Samaké *et al.*, 1999 b). Les actions entreprises pour atteindre ces objectifs constituent souvent une menace pour l'équilibre écologique. Aussi, des stratégies d'intervention doivent être envisagées pour garantir une utilisation rentable des ressources naturelles tout en évitant leur dégradation à long terme. Les stratégies suivantes peuvent être proposées :

- l'approche participative dans les programmes de développement et l'introduction de nouvelles technologies de gestion durable des ressources naturelles renouvelables ;
- la responsabilisation des villages dans la gestion des ressources de leur espace selon le type de ressources et selon les instances de gestion déjà existantes ;
- l'organisation des producteurs et le renforcement de leurs capacités par la mise à leur disposition de techniques d'exploitation, d'outils de gestion et de prise de décision efficaces ;
- la mise en place de centres de formation et d'information cogérés par les différents partenaires, ces centres constitueront des lieux privilégiés d'échanges et de confrontations

du savoir des producteurs avec les acquis de recherche ; ceci favorise l'ancrage des producteurs à leur environnement et les confère une capacité de prise de décision ;

- l'intégration des activités rurales extra agricoles (artisanat, petits commerces...) pour alléger la pression que subissent les ressources naturelles.

Conclusion

17 La synthèse des investigations menées dans la vallée du Sourou confirme que cette zone renferme d'énormes ressources agro-sylvo-pastorales qui offrent la possibilité d'une grande diversification des activités rurales. Mais par suite de la pression démographique sur ces ressources et l'influence des facteurs climatiques, ce patrimoine ne cesse de se dégrader. Pour alléger cette pression et parvenir à une utilisation rentable et durable de ces ressources naturelles, la responsabilisation des populations locales, leur formation et l'introduction d'activités extra agricoles s'imposent. Cette responsabilisation est une nécessité et répond à un souci d'efficacité car le comportement de la population rurale peut contribuer activement à l'appropriation responsable sur le terrain des actions entreprises pour une gestion durable des ressources naturelles renouvelables.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Cissé S., Ba O. B., 1990 – *Les éléments de productions rurales en 5e région du Mali et dans le cercle de Niafunké.* Rapport d'étape. Doc. IER, Mopti (Mali), 43 p.

CNRA, 1998 – *Plan stratégique de la recherche agronomique 1999-2005.* Doc. Comité national de recherche agronomique, IER, Mopti, 128 p.

DRPS, 1987 – *Recensement administratif de la population de la région de Mopti, Mali.* Doc. Dir. Régionale du plan et statistique, Bamako, Mali.

DRPS, 1996 – *Recensement administratif de la population de la région de Mopti, Mali.* Doc. Direction régionale du plan et statistique, Bamako, Mali.

DRSPR, 1992 – *Éléments de reconnaissance générale dans le Séno et dans le delta en cinquième région.* Rapport ESPGRN, IER, Mopti (Mali), 163 p.

ESPGRN, 1995 – *Rapport de la IVe session du Comité technique régional de Mopti.* Doc. Equipe systèmes de production et gestion des ressources naturelles (ESPGRN), IER, Mopti (Mali), 32 p.

Frahan B. de, Diarra M., 1987 – *Résultats de l'enquête préliminaire en 5e région du Mali : la plaine du Séno et le plateau de Bandiagara.* Doc. IER, Bamako, Mali.

Fussell L. K., Serafini P. G., Bationo A., Klaij M. C, 1987 – « Management practices to increase yield stability of millet in Africa ». *In : proc. of the international pearl millet workshop,* Icrisat Center India, 7-11 April 1986, Icrisat, Patancheru (India) : 255-268.

Klaij M. C, Renard C, Reddy K. C., 1994 – Low input technology options for millet based cropping Systems in the Sahel. *Experimental agriculture,* 30 :77-82.

Konaté A. B., Tessougué M., 1996 – *La gestion des ressources naturelles renouvelables dans la forêt du Samori. Vol.1 : Éléments de reconnaissance de la forêt du Samori.* Rapport du projet de protection de l'environnement, SOS Sahel, Bankass (Mali).

Pirt, 1983 – *Inventaire des ressources terrestres au Mali.* Doc. du projet inventaire des ressources terrestres, IER, Bamako (Mali).

Ruthven O., Koné M., 1995 – « Bankass, Mali ». *In* David R. (éd.) : *Changing place ? Women, resource management and migration in the Sahel,* London, UK, SOS Sahel, 139 p.

Samaké O., Bitchibaly K., 1999 – *Études pédologiques des petits périmètres hydro-agricoles des villages de Kendé, Para, Guinigan et Oula dans la vallée du Sourou.* Rapport de consultation restreinte, Lot N°1, IER, Mopti, 11 p.

Samaké O., Kodio A., Traoré A., Cissé S., Touré M. S. M., Ballo A., Traoré M., Traoré B., 1999 a *Caractérisation multi-échelle des systèmes d'utilisation des terres pour améliorer la gestion des ressources naturelles dans les zones en marge du désert de l'Afrique de l'Ouest : cas du cercle de Bankass et du village de Lagassagou au Mali.* Doc. projet de coopération scientifique DMP/ORU Mali, rapport M1, IER, Mopti (Malil), 54 p.

Samaké O., Kodio A., Traoré B., 1999 b-*Objectif et stratégies de développement dans la zone sahélienne du Mali.* Doc. projet de coopération scientifique DMP/ORU Mali, rapport M2, IER, Mopti (Mali), 11 p.

Tessougué M., Trench P. C, Woodhouse P., 1998 – « Terre, eau et administration locale au Mali : la riziculture et la gestion des ressources naturelles dans la vallée du Sourou, Cercle de Bankass ». *In : Rural resources, rural livelihoods,* project Dryland degradation in Africa, water and local governance, phase III, paper 6F, Mali, 141 p.

AUTEURS

ODIABA SAMAKÉ

Agro-pastoraliste. IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, Odiaba.Samake@ier.ml

AMADOU KODIO

Agro-pastoraliste. IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, Amadou.Kodio@ier.ml

Dynamique de l’utilisation des terres et ses enjeux fonciers

Vallée du fleuve Niger à Gourma-Rharous (Mali)

Issa Bakayoko

1 Les problèmes environnementaux des zones arides et semi-arides ont été durement ressentis par les populations durant les années 1970 et pendant la première moitié des années 1980. Ainsi « nul ne peut désormais ignorer que le monde rural sahélien est en crise : crise écologique et climatique, mais aussi crise économique... La tradition, mise en mal par la rapidité des changements, ne s’applique plus à l’ensemble de la vie du terroir, et perd rapidement sa cohérence de système » (Snrech, 1995). Et « depuis la fin des années soixante, agriculteurs et éleveurs, hommes et femmes des zones sahéliennes de l’Afrique de l’Ouest sont confrontés à une dégradation accélérée de leur environnement..., l’homme souffre en essayant de suivre par tous les moyens, souvent en dégradant d’avantage ses ressources » (Bocary, 1994). Les causes du processus de dégradation des ressources naturelles, se trouvent dans la croissance rapide des populations et dans la surexploitation actuelle des ressources naturelles (Andersen, 1994). A cela, s’ajoutent les difficultés écologiques et économiques, entraînant les « campagnes » sahéliennes dans une dangereuse spirale de dégradation et de régression (Benjaminsen, 1996).

2 Le Gourma est situé sur la rive droite de la boucle du Niger au Nord du Mali. La zone d’étude est la vallée du fleuve Niger dans le cercle de Gourma-Rharous à Tombouctou en 6 e région. Pendant les périodes de bonne pluviométrie, les groupes ethniques vivaient en harmonie grâce aux échanges de ressources naturelles. Cependant depuis les dernières sécheresses, l’équilibre socio-économique n’est plus en conformité avec celui des écosystèmes. La dégradation des pâturages et des terres cultivables a provoqué la concentration des activités de production et reproduction autour des rares points d’eau, créant ainsi une situation conflictuelle et concurrentielle entre les différents groupes ethniques. C’est le cas pour la vallée de la boucle du Niger, où les sédentaires cultivateurs colonisent d’une année sur l’autre les bourgoutières, alors que l’élevage a tendance à se sédentariser autour des ces mêmes points d’eau. Les terres alluvionnaires s’amenuisent, mettant en cause la reproduction des anciens systèmes de production (Diallo, 1992).

3 La cause de la concentration des activités de production et la tendance à la sédentarisation des nomades ne résident pas seulement dans les caprices des effets climatiques, mais aussi dans des effets socio-économiques. Dans ce cas, examinons l'articulation des systèmes de production et leur adaptation à ces changements. Dans la zone, de façon générale, avant la sécheresse des années 70 et 80, il existait une relative stabilité socio-économique liée à la flexibilité dans le temps et dans l'espace des systèmes agraires et pastoraux et aux systèmes d'échanges fondés sur la complémentarité (échanges de biens, de main-d'œuvre...) (Berlin, 1995 ; Bakayoko, 1996). La production agricole, qui est de deux types (culture pluviale et culture irriguée) reposait d'une part, sur la culture des dunes, des mares et des rives fluviales en suivant le retrait des eaux (sorgho, riz...) et d'autre part, par gravitation grâce à un réseau de canaux secondaires et tertiaires reliés au fleuve par des diguettes en banco ; on cultivait ainsi le riz irrigué dans les plaines et les îles (Sidibé, 1993). Après la récolte – c'est-à-dire pendant la saison sèche -, les animaux n'ayant plus assez de pâturage à l'intérieur du Gourma (au Sud) descendaient dans les plaines fluviales regorgeant de pâturages aquatiques très prisés (les bourgoutières à *Echinochloa stagnina*). A cette occasion, des échanges de produits et de biens se faisaient entre les différents acteurs de la zone où se côtoyaient éleveurs, agriculteurs et pêcheurs. Cependant, depuis la persistance des sécheresses récurrentes et des pratiques culturales moins soucieuses de l'environnement, ce système de complémentarité s'est pratiquement transformé en relations de concurrence et voire conflictuelles pour les ressources. En effet, les conditions climatiques (déficits pluviométriques et hydrologiques) ont eu pour conséquences une dégradation des pâturages tant en brousse que dans la vallée, une régression de la fertilité des sols agricoles menant à l'abandon des terres devenues incultes, une destruction des sols suite aux effets conjugués de l'érosion éolienne et pluviale (sans compter l'ensablement des terres, Iare, 1994) et une mise en culture des bourgoutières généralement réservées à l'élevage.

4 Dans le cadre des appuis socio-économiques, la multiplicité des droits réglant le système foncier dans la zone crée un imbroglio juridique dans lequel les groupes ethniques et les acteurs locaux se retrouvent difficilement. Cela accentue les dangers conflictuels bloquant des actions de développement dans la vallée du fleuve, d'où l'existence d'enjeux fonciers importants pour l'utilisation des terres dans la boucle du fleuve Niger. Ainsi toute tentative de solution est tenue à répondre aux questions suivantes. Quelles connaissances les communautés rurales ont de leur milieu ? Quelle utilisation en font-elles ? Quelle est leur responsabilité dans sa transformation ? Et quelles sont les stratégies à adopter face à un milieu ainsi modifié (organisation, mode d'utilisation des terres...) ? La réponse à ces questions permet d'approfondir et de décrire les rapports entre les populations et le complexe « foncier / systèmes de production » en dépassant les études sectorielles des grands espaces. Cet article propose une vision combinée des aspects géographiques et sociaux des enjeux fonciers de la vallée. Cette vision permet de définir les comportements des populations en fonction de variation géographique des ressources naturelles dans la vallée où la concentration des populations est très dense, et d'analyser les problèmes pour cerner les perspectives de développement de la vallée. Trois villages (Benguel, Gourzougueye et Gaberie) ont fait l'objet de nos investigations suivant des critères d'ancienneté, de disponibilité de grands espaces et de position géographique.

Développement des concepts

5 D'après Diallo et Gjessing (1999), « les hommes peuvent influer sur les systèmes de paysage en contrôlant des parties de leurs fonctions internes ou externes ». Dans le cas de notre zone d'étude, cela suppose qu'il existe des rapports évidents entre l'évolution du paysage et ses ressources (terres, eau et pâturage), les impacts de la variabilité des conditions naturelles du milieu (pluviométrie et hydrologie) et les activités quotidiennes des populations (mode d'organisation des populations, mode d'utilisation des terres, accroissement de la population et des besoins, conflits fonciers, absence de schéma d'aménagement adapté...), tous étant chacun un élément du système spatio-temporel de la vallée. Ainsi le système d'utilisation des ressources, qui est évalué par le biais du nombre d'utilisateurs cherchant à satisfaire leurs besoins, et son fonctionnement peuvent engendrer une concurrence, voire des conflits, si la satisfaction des besoins d'un utilisateur peut compromettre l'intérêt des autres. « Le paysage contient des valeurs différentes pour des gens différents. Les propriétés, ayant de la valeur, sont identifiées et définies comme les attributs du paysage ; il faut prendre en compte le fait que l'exploitation d'une ressource puisse avoir des effets pervers (externalités) qui influent sur les intérêts des autres utilisateurs » (Diallo et Gjessing, 1999).

6 Cet état de fait est conditionné à l'environnement du système (facteurs externes et internes) qui règle les actions et les interactions des éléments constitutifs dont le plus important dans cette zone est le temps, pour ce qui est de la dynamique et du foncier, qui relèvent respectivement du physique et du social. Par conséquent, Zéhibi (1990) trouve que les riches potentialités en ressources naturelles dont recèle la vallée sont condamnées à une déplorable dégradation à cause de l'impact des crises naturelles et de l'évolution du climat social, si des mesures à long terme ne sont pas prises, permettant de faire un planning de projets de développement hiérarchisés.

7 La terre, principale ressource de base, constitue aujourd'hui un grand enjeu pour les populations riveraines du fleuve Niger à Rharous. Son état productif est critique, mais il est encore récupérable en réalisant l'intégration des systèmes comme l'indique la géographie des ressources. Cette récupération à pour objectif principal d'atténuer dans le futur les conséquences des divers problèmes. Pour cela, une étude rétrospective est nécessaire d'où l'objet de notre travail sur la dynamique de l'utilisation des terres dans la vallée du fleuve Niger à Gourma-Rharous. N'est-ce pas la pensée générale de la géographie des ressources que d'élaborer un planning de développement ? En tout cas, il faut nécessairement comprendre la façon dont le passé s'est déroulé et comment le présent est vécu pour établir une relation de cause à effet. Ici dans la vallée, la terre est mise à profit par les populations pour subvenir à leur besoin afin de survivre dans une zone difficile avec un cycle naturel aléatoire.

8 La vallée est la zone agro-écologique la plus peuplée, jouissant de la situation la plus sûre par rapport aux autres zones du Gourma. Le Gourma est un espace sahélien où la culture pluviale est presque impossible à moins que l'irrigation ne vienne en appoint, et cela n'est réalisable qu'au niveau de la bordure fluviale, d'où la fréquence des villages sédentaires constitués de Sonrhaïs. Les nomades aussi y sont fréquents en raison de la permanence de l'eau pendant la saison sèche. Ainsi, ayant comme support commun la terre, ces deux activités peuvent entrer en concurrence si les données environnementales changent dans un sens, et c'est par ces activités que l'homme exploite la terre et lutte ainsi contre les

conditions naturelles. Dans ce cas, l'homme est au centre de la dynamique de l'utilisation des terres où ses actions d'exploitation seront fonction des conditions naturelles. Ainsi, comme l'avaient déjà annoncé Andersen (1994) puis Diallo et Gjessing (1999), le social et le naturel sont difficiles à étudier séparément car leurs processus constituent une chaîne d'interactions interdépendantes.

Systèmes de production

9 De tout le Gourma, la vallée est la seule zone agro-écologique de production relativement sûre grâce à la présence d'une eau de surface abondante et aussi de sols relativement riches, mais dont l'utilisation crée, aujourd'hui, des frictions entre les différents acteurs de la vie socio-économique (Zéhibi, 1990). Principalement deux systèmes de production co-existent : agricole et pastoral. Ces deux constituent les bases de la vie économique, leur gestion est devenue complexe sous les effets des agissements exogènes et des conditions écologiques très dégradées.

10 Le système de production agricole est pratiqué en grande partie en tant qu'activité principale par les Sonrhaïs et les autres groupes ethniques (Touaregs, Maures, Peuhls) ; les nomades l'exercent secondairement avec 52 % spécifiquement pour les Touaregs de la zone. Grâce aux soutiens des partenaires au développement (AEN), les bourgoutières des Touaregs de Benguel ont été transformées en rizières et redistribuées entre les usagers sans distinction de mode de vie.

11 Ce système, qui était fondé sur la riziculture (riz flottant : *Oryza glaberrima*) puis le blé, l'orge, le mil et les cultures maraîchères, permettait l'exportation de surplus de production vers le sud du pays. Actuellement il en est autrement à cause d'une faible production. En fait, il y avait deux modes de culture : la culture irriguée et la culture de décrue. Le premier (appelé culture à submersion contrôlée) consiste à protéger les pousses contre les poissons rhizophages et leur éventuelle submersion dans les zones d'inondation. De cela, il existe deux types : moderne et traditionnel. Le type moderne renforce la résistance des digues et des ouvrages d'entrée d'eau munis de bâtards d'eau et de grillages anti-poisson rhizophages jusqu'à 4 m de hauteur. Pendant que celui-ci concerne des grandes surfaces couvrant plusieurs parcelles mises en commun, le type traditionnel sécurise seulement les champs familiaux avec des infrastructures limitées donc vulnérables aux intempéries fluviales. Le second mode de culture (appelé culture de décrue) était beaucoup pratiqué pendant la période humide, mais il est aujourd'hui presque abandonné sous l'effet de la baisse du niveau hydrologique du fleuve et de la mobilité des dunes de sable (Sidibé, 1993). Ce mode consiste à cultiver sur les espaces libérés par le retrait des eaux de crue.

12 Le système pastoral, dans le Gourma, est caractérisé par sa mobilité sur des zones multiples et complémentaires. Bien que l'élevage ait subi des changements importants ces dernières décennies, la vallée reste l'espace vital avec la présence d'eau et du pâturage aquatique (bourgou). Les principaux animateurs de ce système sont les Touaregs et les Maures pratiquant la transhumance et/ou le nomadisme, puis il y a des Sonrhaïs et des fonctionnaires. En fonction des modes de vie de ces différentes ethnies, on dénombre deux modes d'élevage à savoir d'une part, l'élevage sédentaire (Sonrhaïs et fonctionnaires) et d'autre part, l'élevage nomade ou transhumant (Touaregs, Maures et Peuls). Numériquement, la proportion des pratiquants du nomadisme est encore importante avec 39 % des concessions enquêtées contre 10 % pour l'élevage sédentaire,

tandis que 51 % de la population n'ont pas d'animaux. Cela influence beaucoup la gestion des terres en vue de l'exercice des deux activités complémentaires. Enfin, dans la vallée l'élevage des petits ruminants est très important par rapport aux ovidés et aux camélidés, car ils sont facilement monnayables en cas d'urgence compte tenu de la variabilité des conditions climatiques. En fait, l'élevage des petits ruminants assure un moyen de subsistance pour les populations de la zone.

Changements socio-économiques

13 L'utilisation des ressources naturelles d'un milieu est fonction des conditions socio-économiques. Si celles-ci sont perturbées, les comportements de la population changent inévitablement en même temps que les systèmes de production. Le contraire aussi peut se produire, c'est-à-dire que la transformation des ressources naturelles par les conditions climatiques peut influencer les comportements des populations, voire les conditions socio-économiques. Andersen (1994) conclut que l'interaction entre le système socio-économique et le système environnemental conditionne le fonctionnement du système d'utilisation des ressources.

14 Dans la vallée, les conditions socio-économiques étaient caractérisées surtout par des relations complémentaires entre les groupes ethniques présents, la disponibilité des ressources naturelles, les conditions biophysiques et la politique générale de développement. Aujourd'hui, le constat montre un changement socio-économique dû en principe aux déséquilibres des rapports qui existaient entre les différentes communautés causées par la colonisation, les changements de régimes et la sécheresse.

15 Par ailleurs les changements de régimes à partir de l'indépendance ont provoqué des crises intercommunautaires suite à l'appropriation forcée de certaines terres par les agriculteurs au détriment des éleveurs, conduisant à une révolte des nomades en 1974 et la rébellion de 1990 sous la deuxième république. Enfin l'impact de la sécheresse a beaucoup pesé sur la complémentarité au point de vu naturel entre la vallée et le Gourma intérieur et, par conséquent, entre les deux communautés, sédentaires et nomades (Zéhibi, 1990). La seconde est devenue dépendante de la première à cause de la dégradation de ses moyens de production. Ainsi cette dépendance, mal perçue, bloque le développement de la zone car beaucoup de projets d'aménagement planifiés par les ONG (AEN et Acord) sont retardés par des litiges fonciers qui sont à rebondissements perpétuels.

Dynamique de l'utilisation des terres dans la vallée du fleuve

16 Cette partie traite de l'impact des changements climatiques sur la disponibilité des différents types de terre et sur l'utilisation qu'en font les populations. Les repères d'évolution sont les années 1954, 1975 et 1996. Ce travail est fait à partir de l'analyse diachronique des photos aériennes et d'images satellitaires, mais ces outils ont des limites que nous discuterons.

Limites des outils dans ce genre d'étude

17 La photo-interprétation est une technique permettant l'étude de l'évolution du paysage ou l'inventaire des ressources naturelles. Dans le cas présent, l'objectif principal était de déterminer la superficie des terres agricoles dans la vallée. Sur une terre ferme comme au sud du pays, les terres agricoles ou pastorales sont facilement identifiables sur les photos aériennes à travers leur délimitation et les bourtoles ; par contre, dans la vallée de la boucle du Niger à Gourma-Rharous, c'est tout autre chose (Kammerud, 1993 ; Andersen, 1994).

18 La différenciation entre les champs de bourgou, de riz et de blé sur une photo aérienne au 1 :25 000 est impossible, à plus forte raison à l'échelle 1 :50 000 dans une zone d'inondation où à présent ces cultures se pratiquent. Dans la zone d'étude, il n'existe que des petits champs éparpillés entre des adventices comme les vétiveraies, rendant encore plus difficile l'identification. Ainsi pour des raisons méthodologiques, nous avons utilisé comme variable principale les terres ou zones d'inondation et les différents niveaux du couvert végétal. Dans ce milieu, les zones d'inondation offrent des possibilités aux spéculations agricoles (riz flottant et dressé, blé, sorgho, haricot, maraîchage...).

Évolution des paysages dans les trois villages

Benguel

19 Le village de Benguel était en son temps une zone de pâturages par excellence, avec une superficie de 3 572 ha. Toute la zone était couverte de bourgoutières dont les plus importantes étaient la plaine de Tinerkissoum et celle de Tibo. En 1954, ces terres d'inondation étaient estimées à 850 ha, soit 23,8 % de la superficie du terroir (fig. 1). La variabilité climatique a permis l'installation des villages sédentaires Awilokoïra et Dangouma sur les hautes terres. En 1996, Benguel montre une baisse de superficie des terres d'inondation conduisant à l'abandon de certaines terres de cultures.

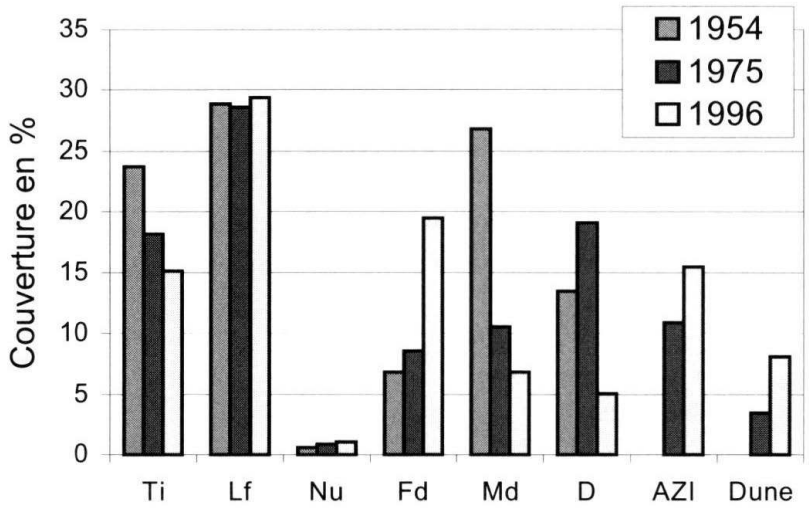


Figure 1. Comparaison des unités de paysage dans le village de Benguel, entre 1954, 1975 et 1996. Ti : terres inondables ; Lf : lit du fleuve ; Nu : terres nues ; Fd, Md : faible, moyenne densité ; D : couverture dense ; AZI : ancienne zone d'inondation ; Dune : dune fixe.

20 La superficie de ces terres d'inondation ne représente aujourd'hui plus que 15,1 %. Du point de vue végétation, la couverture moyennement dense était la plus importante avec 26,8 % du terroir pour 6,8 % en 1996. Cette importance peut être probablement expliquée par une charge pastorale faible, une bonne capacité de régénération et une durée de pâturage raisonnable. Les autres unités ne sont pas restées constantes à cause des effets climatiques et des aléas socio-économiques. Il s'agit de la couverture dense (D) et faiblement dense (Fd) ; actuellement, il n'existe plus de végétation dense et le peu qui reste, n'a plus le temps de régénérer d'importante quantité de matière vivante. Les dunes couvrent davantage de terrain en 1996 avec 8,1 % contre 3,4 % pour 1975. Aujourd'hui l'agriculture prédomine avec la transformation des deux grandes plaines d'inondation du fait de projets de développement.

Gourzougueye

21 C'est l'un des plus vieux villages de la vallée. Il avait plus de terres que les aux autres. Cela lui a valu de nombreux hôtes, ce qui lui posent de nombreux problèmes fonciers depuis l'indépendance. Dans ce village, le paysage a subi presque les mêmes modifications que dans les autres villages. Ainsi les terres d'inondation sont passées de 27,2 % du terroir en 1954 à 19,5 % en 1996, soit une différence de 7,7 %. Selon les enquêtes, en 1954 ce village avait une végétation très dense : cette végétation occupait 18,6 % du terroir, alors qu'actuellement elle ne représente que 3,5 % (fig. 2). Ici les champs de riz, estimés à 208 ha (soit 5,1 %), sont répartis entre les méandres des bras anastomosés du fleuve.

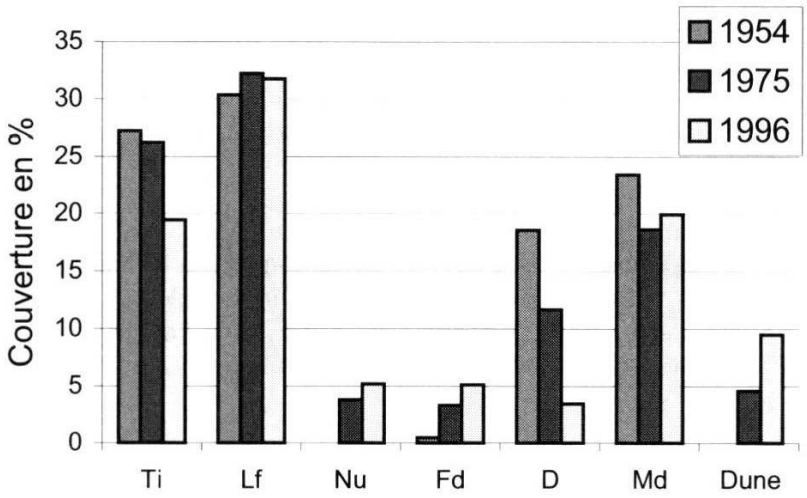


Figure 2. Comparaison des unités de paysage dans le village de Gourzougueye, entre 1954, 1975 et 1996. Ti : terres inondables ; Lf : lit du fleuve ; Nu : terres nues ; Fd, Md : faible, moyenne densité ; D : couverture dense ; AZI : ancienne zone d'inondation ; Dune : dune fixe.

Gabérie

22 Sur ce vieux site de 9 079 ha, l'état défectueux de conservation de la couverture photographique aérienne de 1954 n'a pas permis de reconnaissance historique. Aussi la lecture du temps se limite à 1975 et 1996 (fig. 3). Sa position par rapport à la forme du fleuve lui offre de grandes potentialités agricoles. Pendant les dernières périodes humides, le site du village devenait une île. Selon les habitants, en 1954 le village possédait encore une importante terre d'inondation (Ti) et une couverture végétale

moyennement dense (Md). Mais en 1975, les terres inondables constituaient 22,3 % de la superficie du terroir contre 16,4 % en 1996. Cette variation est due à la baisse du niveau hydrologique et s'est manifestée par l'augmentation des terres incultes (Ter-in) et l'ensablement des terres exondées. Ces terres sont en général couvertes d'une faible lame d'eau (15 cm au plus), qui ne permet pas l'activité agricole. Souvent elles sont recouvertes par du sable ou des adventices très recherchés par les animaux. La végétation a donc subi aussi l'impact de la variation climatique ; on note cependant que l'unité Md reste importante car elle couvre encore 37,2 % du terroir, du fait de l'infiltration. Situé entre deux bras du fleuve, c'est toujours un lieu de transhumance.

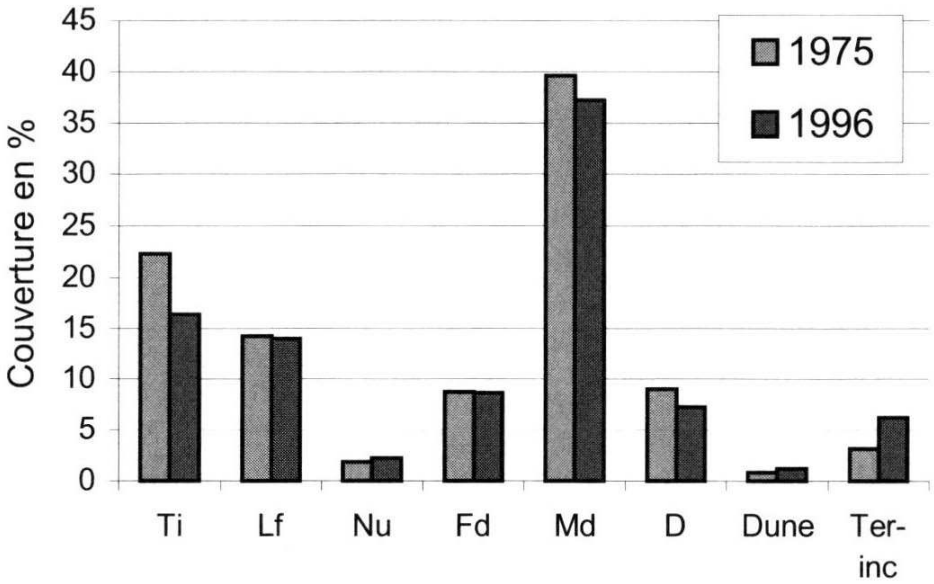


Figure 3. Comparaison des unités de paysage dans le village de Gabéri, entre 1975 et 1996. Ti : terres inondables ; Lf : lit du fleuve ; Nu : terres nues ; Fd, Md : faible, moyenne densité ; D : couverture dense ; Dune : dune fixe ; Ter-inc : terre inculte.

L'utilisation des terres dans la vallée et les enjeux fonciers

23 La variation de la disponibilité des ressources naturelles définit leurs modes d'utilisation par les populations. En effet, les dernières variations des conditions climatiques ont sérieusement modifié les modes d'utilisation et l'articulation des différents systèmes de production. La terre, ressource principale de la vallée, est soumise aux différents modes d'utilisation à travers deux principales activités. Dans la vallée, la primauté était donnée au droit de la hache et cela concerne les meilleures terres. Ces terres ne sont pas vendables et ne peuvent être prêtées. Pour y accéder, il faut être un héritier. Dans le partage, on tient compte du droit islamique qui confèrent aux garçons les trois quarts des terres contre un quart pour les filles, même si elles sont mariées. A la mort de ces femmes, leurs enfants peuvent cultiver ces parcelles même s'ils se trouvent dans un autre village (Satec-Paris, 1973 *in* Snrech, 1995). L'autre catégorie de terres (sur les dunes) était accessible à tous avec autorisation du chef de village. L'accès aux bourgoutières est libre, une fois que le village qui en est propriétaire y fait entrer son bétail. Actuellement, le droit foncier sur les bourgoutières pose des problèmes entre les communautés sédentaires et les nomades.

24 La solution aux litiges tranchée par l'administration ou par la justice est très souvent rejetée par l'une des parties, ce qui bloque en général la mise en valeur de ces terres (Zéhibi, 1990). Comme le mode d'appropriation des terres est le faire-valoir direct, cela conduit à l'amenuisement de la part individuelle, de génération en génération. Cette pression foncière devient encore plus forte avec la délocalisation des anciennes rizières. Pendant les périodes humides, ces rizières se trouvaient autour des bourgoutières situées dans les bas-fonds et cela était une stratégie de cohabitation des communautés car après les récoltes les animaux pouvaient rentrer dans ces bourgoutières. Aujourd'hui, les paysans ont tendance à installer leurs rizières dans les bourgoutières. Ainsi 31 % des chefs de concession ont encore des champs sur les dunes contre 61 % qui les ont délaissés. Maintenant dans la vallée, presque tout le monde a des champs, soit 93 %. Cela dénote la perception de la population des transformations que l'écosystème a subies. Enfin, il est remarquable que 64 % des chefs de concession sont conscients de la diminution des superficies cultivables et de la baisse des rendements.

25 Dans la vallée, les litiges de terres sont tranchés par :

- le chef de village ou de canton à partir d'une législation coutumière (droit coutumier du milieu) ;
- la législation islamique, qui fait intervenir le cadi[1] ou d'autres chefs religieux ;
- l'administration qui tente de résoudre le problème en jouant le rôle de médiateur entre les parties, et en cas de non-conciliation les deux parties peuvent se rendre devant la justice, qui tranche à partir du code domanial et foncier dont elle dispose.

26 En fait, dans la plupart des litiges opposant des villages ou des fractions de village, on est souvent dans l'incapacité de trancher car du point de vue du règlement les enjeux fonciers dans la vallée sont très complexes et multiples. Deux tentatives d'explication, (d'ordre naturel et politique) peuvent être données.

27 Sur le plan naturel, la vallée avait des activités complémentaires qui se chevauchaient régulièrement en fonction du rythme naturel de la variation du niveau hydrologique du fleuve et de la pluviométrie. Les éleveurs, agriculteurs et pêcheurs y trouvaient leurs comptes. Chacun avait une maîtrise exclusive ou partielle de son espace pendant une période de l'année. Donc les affrontements fonciers s'observaient très rarement jusqu'aux deux sécheresses récentes qui ont affecté ces rythmes naturels au point que la cohabitation est devenue difficile dans la vallée. En effet, ces groupes, les nomades et les sédentaires, se réservent le droit de propriété coutumière des terres (agricoles et pastorales) dont la disponibilité suit le mouvement de l'eau.

28 Sur le plan politique, plusieurs modes de règlement se rencontrent dans la zone à cause de la succession des différents types de régimes, à savoir le coutumier, l'islamique et le moderne (Traoré, 1996). Le fait qu'il n'y ait pas de point commun, ces droits fonciers occasionnent des rebondissements interminables rendant difficile le développement de la zone. C'est ainsi la plus grosse difficulté que rencontre les partenaires des projets de développement, tels que les ONG.

Analyse des problèmes et perspectives pour la vallée

29 Des études ont montré que dans le Gourma, la vallée était son point névralgique à cause des potentialités qu'elle regorgeait depuis les périodes humides (Ag Mahamoud, 1992). Elle assurait la base de l'organisation spatio-temporelle de l'utilisation des ressources

naturelles. Sa situation actuelle révèle une désorganisation des systèmes de production, qui est directement liée à la réduction des terres vitales et à la difficulté[2] d'entente entre les différents groupes ethniques du fait notamment des fortes concentrations de populations dans la vallée. Tous ces facteurs constituent des problèmes majeurs pour le développement de la zone.

30 Les problèmes de la vallée sont liés au manque de disponibilité des terres cultivables, des technologies adaptées et des réserves de bourgou pour les animaux. Ces problèmes sont les conséquences de la variabilité climatique qui influence la dynamique sociale. Quand les conditions climatiques sont favorables, la stabilité socio-économique peut se rétablir ainsi qu'une bonne répartition des ressources naturelles. Mais si les ressources deviennent une source de conflit suite à la dégradation de l'environnement, la dynamique de l'utilisation des terres dans la vallée est aussitôt affectée. La quantification de ce concept de la dynamique de l'utilisation des terres dans un cadre spatio-temporel évolutif peut constituer un nouveau thème de recherche.

31 Dans la perspective du développement régional à l'échelle du cercle, la vallée sera réservée de façon importante à l'agriculture. Et au rythme auquel se transforment les bourgoutières, le pâturage aquatique deviendra très minime. De l'autre côté, à l'intérieur du Gourma, les éleveurs continueront à pratiquer leur nomadisme à la recherche de points d'eau très peu nombreux pendant la saison sèche, période durant laquelle la concentration du bétail est très élevée par rapport à la charge pastorale. Cette situation risque d'entraver le développement de la vallée et de créer une pénurie de protéines chez les populations avec la diminution des espaces pastoraux dans la vallée. Le projet de construction du barrage de Tossaye à l'aval du Gourma est un autre risque pour la vallée. La retenue d'eau ne sera pas sans effet sur les pâturages aquatiques. Que dira-t-on aux éleveurs pendant la saison sèche ? Dans cette situation, la priorité sera toujours donnée aux agriculteurs, d'où une nécessité de mesures telles que :

- récupérer les anciennes terres cultivables ;
- conserver les bourgoutières les plus importantes ;
- trouver une solution durable aux problèmes fonciers actuels qui montrent avec acuité la nécessité d'une révision des conventions et une redistribution des terres tenant compte des droits coutumiers, des besoins nouveaux de l'ensemble des populations de la zone et des aménagements hydroagricoles ;
- mettre en valeur les pâturages de l'intérieur ;
- développer la communication, c'est-à-dire la formation et l'information de la population en associant le savoir local.

Conclusion

32 Suite à la variabilité hydroclimatique (crue, pluie) ayant un impact sur la disponibilité des ressources naturelles, il a été remarqué un changement dans l'occupation des terres dans la vallée du fleuve Niger à Gourma-Rharous au profit des agriculteurs. Auparavant, les espaces d'activité étaient distincts, malgré des interconnexions entre les différentes activités de production. Aujourd'hui, ces dernières sont conflictuelles à cause du manque d'espace. Du fait d'une situation confuse du foncier, notamment entre les agriculteurs et éleveurs, beaucoup d'activités de développement se trouvent aujourd'hui suspendues ou bloquées.

33 En perspectives, avec les changements politiques intervenus depuis 1991, la décentralisation peut garantir le développement de la vallée en posant les actes d'une nouvelle politique de développement et d'une bonne gestion durable des ressources naturelles. Cela permettra aux partenaires du développement de prendre contact directement avec les populations résidentes connaissant mieux les problèmes de leurs localités.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Ag Mahamoud M., 1992 – *Le haut gourma central : présentation générale.* Aide de l'Église norvégienne (AEN).

Andersen H. P., 1994 – *Local resource utilisation in rural Uganda : a study of land use intensification and landscape ecological changes in Bundodo sub-country.* Doc. Resource geography group, Geography, univ. Oslo.

Bakayoko I., 1996 – *Dynamique de l'utilisation des terres dans la vallée du fleuve Niger à Gourma-Rharous.* DEA Écologie appliquée, Isfra, univ. Mali.

Benjaminsen T. A., 1996 – *Population pressure and the fuelwood crisis revisited : a case from southern Mali.* Center for development and the environment (SUM), univ. Oslo.

Berlin L, 1985 – *Écologie et développement socio-économique : étude des interdépendances entre la détérioration de l'environnement des activités quotidiennes de l'homme dans la zone lacustre au Mali.* Doc. Isfra, univ. Mali.

Bocary K., 1994 – *Une lutte de longue haleine : aménagement anti-érosif et gestion du terroir.* Doc. IER et KIT, Mali.

Diallo A., 1992 – « Volet écologie ». *In : Écologie des ressources naturelles et système de production du Gourma,* Rapport annuel SSE Mali-Norvège, Bamako, Mali.

Diallo A., Gjessing J. (éd.), 1999 – *Gestion des ressources naturelles : morpho-pédologie du Gourma.* Programme de recherche SSE Mali-Norvège, CNRST-IER-Université d'Oslo.

Iare, 1994 – *Étude de l'ensablement de la vallée du fleuve dans la boucle du Niger au Mali.* Doc. IER, Bamako et Gao, Mali.

Kammerud A. T., 1993 – *Influence des sols sur l'observation par satellite des pâturages sahéliens. Une étude de cas : le Gourma malien.* Projet de recherche SSE, Environnement et développement au Mali, Coop. Mali-Norvège.

Sidibé H., 1993 – *Occupation humaine et environnement dans la région lacustre de l'Issa Ber (Mali).* Thèse doct., EHESS, Univ. Paris.

Snrech S., 1995 – “Preparing for the Future : a vision of West Africa in the Year 2020”. *In : Summary report of the West Africa long term perspective study*, OCDE, Club du Sahel, BAD/Cinergie, CILSS.

Traoré B., 1996 – *L’agriculture dans la vallée du cercle de Gourma-Rharous : la production céréalière et le foncier*. DEA Écologie appliquée, Isfra, univ. Mali.

Zéhibi O. S. M., 1990 – *Le développement et les conflits dans la boucle du Niger : la vallée du cercle de Gourma-Rharous (Mali)*. DEA Sociologie du développement, univ. Paris I, Sorbonne, UER/IED.

NOTES

1. Un cadi connu dans la vallée avec résidence à Cheriffen Rhergo (village thamashek).
2. Les derniers évènements (rébellion) ont accru la méfiance entre les différents groupes socio-ethniques. A présent, les attaques n’ont pas disparu dans le Nord du pays, malgré les patrouilles des forces armées.

AUTEUR

ISSA BAKAYOKO

Sociologue. Institut des sciences humaines, BP 159, Bamako, Mali, cnrst-nufu@datatech.toolnet.org

Enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali)

Delmasig, un SIG à vocation locale et régionale

Jérôme Marie

1 Le présent article expose brièvement quelques-uns des résultats obtenus par l'utilisation du SIG Delmasig concernant l'évolution des rizières et les relations entre espace rizicole et espace pastoral. Ce système d'information géographique est dédié à l'aide à la décision pour une gestion régionale et locale des hommes, des milieux, des enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur amont du fleuve Niger au Mali (Marie, 2000). L'espace traité couvre les plaines de la cuvette du Niger depuis, en amont, Ké-Macina sur le Niger et Baramandougou sur le Bani, jusqu'au lac Débo en aval, y compris une fraction du Farimaké au nord-ouest du lac Débo, soit une superficie totale légèrement supérieure à 22 000 km^2. Les données portent sur :

- les formations végétales et leur relation avec la crue, dont dérive une modélisation des surfaces inondées ;
- une analyse de l'évolution des surfaces cultivées en riz entre 1952, 1975 et 1989 : la comparaison diachronique de l'emprise des cultures de riz à ces trois dates permet d'en retracer l'évolution sur une quarantaine d'années, tandis que la comparaison de l'emprise des rizières avec les formations végétales permet de mettre en évidence les stratégies des riziculteurs et de suivre plus particulièrement l'évolution de l'espace « des crues utiles » année par année ;
- une modélisation des nouveaux cadres territoriaux (les communes rurales) et de l'évolution démographique entre les années 1976 et 1998 ;
- une modélisation de l'infrastructure pastorale (le *leyde* qui correspond au territoire pastoral peul), des pâturages (représentées par les bourgoutières), des pistes pastorales et des gîtes de bétail : la comparaison de ces informations avec l'emprise agricole, leur mise en perspective dans le nouveau découpage territorial en communes rurales permet d'esquisser un bilan de l'état de ces infrastructures et de proposer des orientations de réflexion pour des aménagements futurs.

2 Les données de terrain concernant les formations végétales et le pastoralisme sont, pour l'essentiel, tirées d'une étude réalisée au début des années 80 et non encore publiée (Cipéa

[1]/Odem[2], 1983) à laquelle l'auteur a participé. Cette étude comprenait notamment une cartographie détaillée des pâturages et des infrastructures pastorales. Elle devait servir à un plan d'aménagement régional avec la création d'associations d'éleveurs ou d'agro-pasteurs. Cette perspective a déterminé le niveau de précision recherché dans la définition des thèmes cartographiques ; l'échelle des levés et de la restitution cartographique fut le 1/50 000[e]. Il ne s'agit donc pas d'une échelle cadastrale mais d'une échelle très détaillée et suffisante (la superficie des plus petites formations végétales cartographiées étant d'environ 1 ha) pour une modélisation de l'écosystème régional, étape indispensable dans le processus conduisant à une meilleure compréhension des enjeux spatiaux pour l'usage et l'appropriation des ressources dans le delta. Les données sur les populations ont été remises à jour en 1999, et le nouveau découpage territorial en communes rurales y a été inclu grâce aux informations communiquées par la MDRI (Mission de décentralisation et des réformes institutionnelles, chargée de mettre en place les nouvelles communes rurales maillant la totalité du territoire de la république du Mali). Quant aux informations sur les surfaces cultivées, elles proviennent, pour 1952 et 1975, d'une étude du Cipéa (Haywood, 1981) comprenant une cartographie détaillée effectuée par photo-interprétation, entre 13°55 et 16° de latitude Nord, 6°40 et 4°30 de longitude Ouest, ce qui correspond au delta mort et une partie de la cuvette du delta vif, au total 46 000 km^2 dont un peu plus de 8 000 km^2 couvre la partie ouest du delta amont. Le parcellaire de culture pour 1989 est tiré de la carte d'occupation agricole des terres réalisée à partir d'images Spot et publiée en 1990 par le projet Pirl[3] ; elle couvre la totalité du delta amont et ses marges sèches.

Formations végétales et modélisation du milieu

Profondeurs de submersion et niveaux d'associations végétales

3 Les analyses statistiques établissant les profils floristiques des associations végétales en fonction des facteurs écologiques montrent que le facteur dominant qui guide la distribution spatiale des formations végétales est l'inondation définie par ses principaux paramètres : gradient de hauteur, régularité et durée de la submersion (Gauthier *et al.*, 1977 ; Hiernaux, 1980 ; Hiernaux et Diarra, 1986). Nous avons choisi d'exprimer de manière privilégiée la hauteur de submersion qui permet de classer les différentes associations végétales en niveaux, chaque niveau représentant pour les formations végétales qui lui sont liées, la hauteur de la submersion la plus fréquemment atteinte. Les différents états des variables décrivant les conditions de l'inondation (hauteur, régularité, durée, vitesse et dates de montée et de baisse des eaux...) tels qu'ils ont pu être mesurés sur lesl69 sites témoins sont rapportés aux échelles limnimétriques disponibles en 1980 dans le delta. Il ne s'agit pas de déterminer les régimes de chaque plaine ou de chaque cuvette prise isolément mais de définir une série de paramètres les plus fréquemment atteints qui permettent d'établir une relation entre les formations végétales et le déroulement d'une crue que l'on peut qualifier de « crue-climax » par analogie à la relation existant entre un climat et des formations végétales. Ces profondeurs – ou hauteurs – de submersion sont établies à partir d'une cote 0,0 m qui correspond à la cote limnimétrique la plus régulièrement atteinte par la crue dans les conditions de l'étude. La comparaison des séries amène à considérer que la valeur la plus fréquemment atteinte, celle que l'on peut considérer comme la valeur climax, correspond au maximum moyen

des crues moins l'écart type (Cissé et Gosseye, 1990). La station de référence est Mopti, la série de crues que l'on peut qualifier de normale et de régulière correspond aux années 1944-1968, et le maximum décadaire moyen pour cette période (686 cm) moins l'écart type (26 cm) est la valeur la plus fréquemment atteinte. Cette valeur correspond à la cote 660 cm à l'échelle de Mopti (atteinte dans 84 % des cas) et établit ainsi, pour la station de Mopti, une relation avec la cote 0,0 m des hauteurs de submersion, qui correspond à l'altitude moyenne des points d'entrée d'eau des casiers de Mopti (soit 267,20 m).

4 La moyenne de 1943 à 1980, qui est l'année des travaux de terrain, est de 671 cm (avec un écart-type de 46 cm) alors que la valeur de 660 cm n'est plus atteinte que dans 63 % des cas, ce qui, à nos yeux, ne remet pas en cause la valeur de la crue-climax retenue précédemment. Cette notion de « crue-climax », qui suggère une relation d'équilibre entre des crues – variant d'une année sur l'autre – et des niveaux des formations végétales – un étagement -peut être discutée. Des modifications importantes des crues devraient se traduire par des changements dans les formations végétales. Les travaux de terrains poursuivis jusqu'en 1985 (avec une série de crues très faibles : 551 cm en 1982, 502 cm en 1983, 440 cm en 1984), s'ils montrent de fortes variations de production fourragère et des modifications limitées dans la composition floristique de certaines formations, ne remettent pas en cause le schéma général des niveaux de submersion et leur relation avec une crue définie comme climax.

5 La distribution spatiale des 169 échantillons de référence pour l'étude des relations formations végétales / profils écologiques nous montre que la relation entre la valeur zéro de référence et les profondeurs moyennes de submersion est vraie en tous points du delta à l'époque où les travaux de terrain ont été effectués (entre 1977 et 1983). Les faibles crues, qui existaient déjà à l'époque mais qui se sont généralisées et aggravées depuis, ont très probablement entraîné des modifications des formations végétales que Pierre Hiernaux avait commencées d'étudier (Hiernaux et Diarra, 1986) mais ces modifications ne changent pas la relation entre le zéro de référence et les profondeurs de submersion, à moins de supposer que la morphologie du delta intérieur ait complètement changé en vingt ans, ce qui est hautement improbable. A ce propos, la présence toujours actuelle dans le paysage de levées fossiles marquées par une végétation spécifique montre que la morphologie du delta ne change pas en deux décennies. En particulier, le tracé de certaines des levées fossiles du delta Dialloubé correspond au tracé d'un réseau hydrographique maintenant disparu et que Gallais date du III^{e} millénaire humide (Gallais, 1967 b).

La carte des formations végétales

6 Au total, le delta intérieur amont regroupe 120 formations végétales comprenant 27 associations élémentaires dont 17 sont dans les plaines d'inondation et les rizières du delta, 3 dans les plaines lacustres du Nord et 7 sur les îles, berges et hautes plaines non submergées, et 93 mosaïques combinant deux ou plusieurs associations. Ces formations végétales occupent 14 536 zones élémentaires pour une surface totale de 22 262 km^2. Le tableau 1 donne l'inventaire des formations végétales élémentaires que l'on peut observer seules – par exemple la bourgoutière à *Echinochloa stagnina* (B) comprend 604 zones élémentaires – ou bien combinées sous formes de mosaïques. Les surfaces indiquent la superficie totale occupée par la formation sous forme pure ou comme élément

constituant de mosaïques après répartition de la superficie de chaque mosaïque entre ses éléments constituants selon une règle d'équi répartition.

7 L'analyse des surfaces occupées par les formations végétales élémentaires (après déconcaténation des mosaïques en leurs associations composantes) et leur regroupement en grandes familles de formations montre clairement que les vétiveraies représentent près de 40 % des formations inondées du delta intérieur, suivies par les orizaies (21 %) et les éragrostaies (11,5 %) (tableau 2).

Tableau 1. Les formations végétales de base et les surfaces occupées.

Sigle	Dénomination	Surface (ha)
AC	Eragrostaie haute à *Eragrostis barteri* et *Andropogon canaliculatus*	40 988
AG	Savane à *Andropogon gayanus* des replats sablonneux	37 805
B	Bourgoutière à *Echinochloa stagnina*	109 629
BP	Bourgoutière basse à *Vossia cuspidata*	51 673
EOR	Eragrostaie basse à *Eragrostis barteri* et *Oryza longistaminata*	54 906
ESP	Eragrostaie à *Eragrostis barteri* et *Setaria anceps*	94 286
MB	Mosaïque des berges	72 658
O	Orizaie haute à *Oryza longistaminata* et *Setaria anceps*	142 610
OP	Orizaie basse à *Oryza longistaminata* et *Eleocharis dulcis*	199 781
P	Panicaie à *Panicum anabaptistum*	77 763
PAK	Plaine à *Acacia Kirkii*	5 288
PAM	Plaine basse et chenal à *Mitragyna inernis*	30 516
PAN	Acacière des plaines basses à *Acacia nilotica*	62 907
PAR	Acacière à *Acacia raddiana* et *Calotropis procera*	2 338
PAS	Acacière des plaines à *Acacia seyal*	50 235
R	Rizières des casiers rizicoles de l'Office du Niger et des Opérations riz	5 811
TA	Savane arbustive des "toguerres" à *Andropogon gayanus* et *Piliostigma reticulatum*	161 835
TB	Palmeraie à *Borassus aethiopum*	27 931
TC	Végétation anthropique des "toguerres" à *Celtis integrifolia* et *Borassus aethiopum*	34 916
TD	Fourré arbustif des "toguerres" à *Diospyros mespiliformis*	49 259
THY	Palmeraie à *Hyphaene thebaica*	53 905
TS	Savane arbustive des"toguerres" à *Acacia sieberiana* et *Acacia seyal*	82 161
TT	Savane arborée des "toguerres" à *Terminalia macroptera*	17 032
VB	Vétiveraie très basse	94 392
VH	Vétiveraie haute	147 657
VOR	Vétiveraie basse	198 926
VSP	Vétiveraie moyenne	193 670
ZB	Zone de battement des crues maximales	75 442

8 La plaine d'inondation, « règne de l'eau et de l'herbe » pour reprendre l'expression de Gallais (1984), n'est pas celui sans partage du *bourgou*[4] qui, au sens strict, n'occupe qu'un peu plus de 160 000 hectares[5] soit 10 % des formations inondées du delta intérieur. Un autre enseignement que l'on peut tirer de la comparaison des formations végétales et des niveaux de submersion (tableau 2) est que l'assimilation entre grandes familles de formations et niveaux de submersion ne correspond pas à la réalité du delta intérieur, qui apparaît plus complexe.

Tableau 2. Répartition des grandes familles de formations végétales inondées dans le delta (calculée uniquement sur les formations inondées).

Familles de formations végétales	Surfaces occupées en ha	en %
Vétiveraie	639 934	39,31
Orizaie	342 391	21,03
Eragrostaie	190180	11,68
Bourgoutière	161 302	9,91
Panicaie	77 763	4,78
Zone de battement	75 442	4,63
Mosaïque des berges	72 658	4,46
Andropogonaie	37 805	2,32
Chenaux à *Mitragyna*	30 516	1,87

9 Cette vision très réductrice des paysages végétaux du delta intérieur est celle qui ressort de la carte des étages floristiques dans l'aire grégarigène du delta central du Niger. Ces « étages floristiques » que l'on trouve encore dans des travaux récents (Adésir-Schilling, 1999) sont surtout des entités topo-géomorphologiques, plus justement appelées « niveaux » et repérées par photo-interprétation. Mais l'assimilation de ces niveaux à des formations végétales spécifiques à chaque niveau est abusive. Les vétiveraies se retrouvent sur quatre niveaux, et même cinq si on inclut la formation PAK qui est une vétiveraie très profonde à *Acacia kirkii,* les éragrostaies, les orizaies et les bourgoutières occupant respectivement deux niveaux chacune avec une forte imbrication (éragrostaie en niveaux 3 et 4, orizaies en niveaux 4 et 5, bourgoutières en niveaux 5 et 6 par exemple).

Modélisation des surfaces inondables

D'un modèle discret à un modèle continu

10 La relation complexe mise en évidence entre formations végétales et profondeur de submersion, la finesse de la résolution spatiale des données (la surface moyenne d'une zone de végétation est de moins de 160 hectares) permet de calculer les surfaces potentiellement inondables par niveau (tableau 3) et d'en proposer une traduction cartographique. Le premier enseignement est que l'ordre de grandeur des surfaces potentiellement inondables dans le delta approche les 1 700 000 ha pour la crue définie comme climax. Le second enseignement concerne la sensibilité du delta à de faibles variations de hauteurs d'eau : entre 660 cm et 600 cm la perte de surfaces inondées par rapport à la surface totale inondable à la cote 660 cm est de l'ordre de 7 à 8 % par tranche de 10 cm d'eau. Il semble cependant qu'à partir de la cote 600 cm à Mopti, l'ordre de grandeur de la régression change brusquement, la perte par tranche de 10 cm devenant inférieure à 3 %.

11 Le modèle proposé peut être qualifié de modèle discret à mailles irrégulières puisqu'il s'appuie sur des classes de hauteurs d'eau et sur des zones de végétation dont la taille

varie considérablement (de 0,3 ha pour la plus petite à 12 271 ha pour la plus grande, la moyenne se situant à 158 ha et la médiane à 73 ha). Un modèle continu, plus souple d'emploi, a été calculé en transformant la couverture portant les zones de végétation en une matrice à mailles de 100 mètres de côté (soit 1 ha). A chaque maille est associée une profondeur de submersion qui est la moyenne du niveau de la formation végétale correspondante (ou des niveaux lorsqu'il s'agit de mosaïques intergrades). Après lissage par un filtre gaussien, des isolignes d'égale profondeur de submersion sont calculées de 10 cm en 10 cm par rapport au niveau zéro de référence défini précédemment, l'isoligne zéro étant la limite d'inondation de la crue climax (660 cm à Mopti). Ce modèle continu trouve au moins deux applications : la délimitation des cuvettes hydrologiques du delta et la simulation de l'emprise spatiale des lames d'eau « utile » pour la riziculture pluvio-fluviale.

Tableau 3. Les surfaces potentiellement inondables dans le delta intérieur par niveau de crue. Le niveau 8 correspond à un niveau d'eau libre (exemple : lit mineur du Niger, lit mineur du Bani, lac Débo, etc.).

Niveaux	Surface totale du niveau (ha)	Surface totale inondable (ha)	En % de la surface totale inondable (%)	Par tranche de 10 cm de submersion	Correspondance avec les hauteurs d'eau à l'échelle de Mopti (hauteur max du niveau)
Niveau 2	131 245	1 699 108	7,72	7,72	660 cm
Niveau 3	243 935	1 567 864	14,36	7,18	650 cm
Niveau 4	352 245	1 323 928	20,73	6,91	630 cm
Niveau 5	314 627	971 683	25,22	2,80	600 cm
Niveau 6	302 620	543 107	25,46	1,96	510 cm
Niveau 7	56 961	110 456	3,36	0,29	380 cm [6]
(Niveau 8)	53 495	53 495	3,15		

Note 6[6]

Les principales cuvettes du delta

12 L'un des buts de la modélisation en isolignes d'égale profondeur de submersion était de cerner les contours des cuvettes hydrologiques que la carte de la végétation individualise par l'importance des formations végétales profondes qui s'y trouvent, que ce soit la cuvette qui s'étend très largement au sud du Débo-Walado dans le Nord du delta ou celle du Pondori dans le Sud (fig. 1). Il apparaît important de définir précisément ces cuvettes si l'on désire ultérieurement proposer un modèle hydrologique fonctionnel du delta intérieur. Mais ces cuvettes ne constituent pas seulement des objets hydrologiques : durant les années de faibles crues, elles deviennent, comme nous le montrerons, des lieux privilégiés de compétition pour l'accès aux ressources entre éleveurs et riziculteurs.

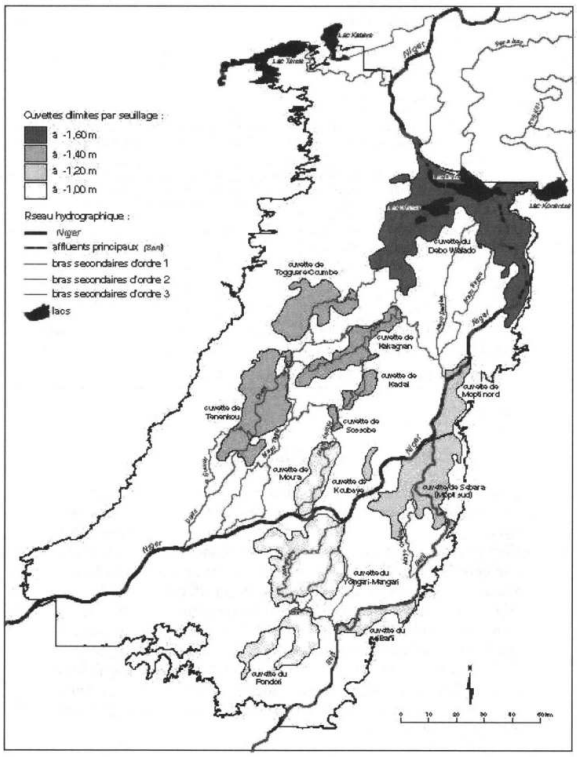


Figure 1. Principales cuvettes du delta intérieur du Niger déterminées par un modèle hydrographique.

13 La délimitation des cuvettes hydrologiques s'est effectuée par segmentation de la surface inondée avec cependant une difficulté théorique : il n'a pas été possible de segmenter la surface en eau afin d'individualiser des formes cernant au plus près les limites des zones de végétation profondes dans le delta pour la même profondeur de submersion sauf à « incliner la matrice » en relevant son bord nord de 80 cm par rapport au bord sud (ce qui correspond à une différence de 60 cm entre le Pondori au Sud et la cuvette du Débo au Nord). Dans ces conditions, la nappe d'eau qui est continue à la cote du zéro de référence (avec la présence d'archipels correspondant aux *togge* ou buttes normalement exondées) se segmente pour une profondeur de -1,00 m par rapport au zéro de référence. En deçà de -1,00 m, la segmentation de la nappe n'est pas encore effective, elle apparaît à -1,00 m et au-delà on obtient des formes emboîtées très proches de celles obtenues à -1,00 m. Le seuillage obtenu fait donc apparaître des contours stables cernant au plus près les zones de végétation regroupant des formations profondes et que nous définirons comme correspondant aux principales cuvettes du delta (fig. 1).

14 Quelle signification doit-on donner à cette inclinaison de la matrice ? Il est peut-être plus facile de commencer par expliquer ce qu'elle ne signifie pas : en aucun cas, ces 80 cm n'ont une signification hydrologique et ne peuvent être mis en rapport avec l'écoulement de l'eau dans le delta ou avec la forme de la surface que constitue le plan d'eau. La signification est purement morphologique : les cuvettes du Sud du delta sont moins profondes que celles du Nord. Cette différence est parfaitement en accord avec l'étude morphologique de Gallais (1967) qui qualifiait les cuvettes du Sud de « cuvettes perchées » par rapport à celles – plus profondes – de Mopti, et *a fortiori* celles entourant le Débo-Walado. Cette différence résulte d'une moindre subsidence de la partie sud du bassin du delta intérieur qui s'accompagne également d'un remblayage plus poussé. Les cuvettes du Sud se trouvent donc « plus hautes » – et donc moins bien alimentées en eau – que celles

du Nord par rapport au niveau zéro de référence. Nous obtenons de la sorte treize cuvettes principales (du Nord au Sud) inventoriées dans le tableau 4 (fig. 1)[7]. Trois remarques s'imposent. Les treize principales cuvettes hydrologiques du delta intérieur occupent 473 000 hectares, soit près de 28 % de la surface inondée totale à la cote climax de 6,60 m, mais elles portent 74 % des bourgoutières du delta. Enfin la pression des riziculteurs y est fort inégale, avec des taux de défrichement (toutes formations végétales confondues) allant de 0 à près de 75 %.

Tableau 4. Les treize cuvettes principales du delta intérieur du Niger.

N°	Nom	Profondeur de seuillage par rapport au 0 de référence	Surface (ha)	Surface "bourgou" (ha)	Surfaces cultivées en % de la surface de la cuvette
1	Débo Walado	- 1,60 m	138 723	58 487	0,46
2	Togguéré Coumbé	- 1,40 m	34 382	8 718	22
3	Kakagnan	- 1,40 m	27 419	3 443	34,7
4	Ténenkou	- 1, 40 m	54 976	7 194	45,7
5	Kadial	- 1,40 m	7 464	1 070	63,1
6	Sossobé	- 1,40 m	2 337	188	74,3
7	Koubaye	-1,20 m	2 710	172	66,1
8	Mopti-nord	- 1,20 m	17 833	3 224	48,8
9	Sébéra (Mopti-sud)	- 1,20 m	55 517	11 859	38,6
10	Moura	- 1,00 m	21 114	2 688	54,7
11	Yongari-Mangari	- 1,00 m	67 335	17 749	26,6
12	Cuvette du Bani	- 1, 00 m	14 392	1 977	0
13	Pondori	- 1,00 m	28 208	2 183	9,8
	TOTAL		473 608	118 954	

L'espace des riziculteurs

La prédominance toujours actuelle d'*Oryza Glaberrima*

15 L'étude des formations végétales du delta (tableau 1) montre l'importance des formations à riz sauvages *Oryza barthii* et *Oryza longistaminata* (O et OP) dans les paysages aquatiques du delta.

16 Gallais (1967 a) rappelle l'ancienneté de la riziculture dans le delta, fondée sur un riz flottant, *Oryza glaberrima,* probablement d'origine locale. *Oryza glaberrima,* très plastique, comprend un grand nombre de variétés[8], certaines hâtives avec des cycles courts compris entre 90 et 130 jours, d'autres tardives avec des cycles s'étalant de 150 à 210 jours. Ces riz flottants dont la croissance commence avec la pluie poursuivent leur développement avec la crue, d'où le qualificatif de pluvio-fluvial attaché à cette forme de riziculture sans maîtrise de l'eau. Ces riz acceptent des submersions maximums de trois mètres, supportent des vitesses de montée de l'eau de l'ordre de 5 cm par jour et requièrent un minimum de 60 jours d'inondation.

17 En 1999, l'étude menée par Kuper et Maïga (2000) montre qu'*Oryza glaberrima,* malgré ses faibles rendements, est toujours le riz le plus cultivé dans le delta Intérieur. Gallais (*ibid*) situait les rendements pour l'année 1958 à 700 kg ha^{-1}, avec des valeurs pouvant exceptionnellement atteindre 1 200-1 300 kg ha^{-1}, mais aussi être inférieures à 600 kg ha^{-1}. Les résultats de ces douze dernières années (1987/88 à 1998/99), relevés par Kuper et Maïga (*ibid.*) selon des informations provenant de la DRAMR, montrent des rendements oscillant, selon les années, entre 550 et 900 kg ha^{-1}.

L'évolution des surfaces cultivées en riz de 1952 à 1989

18 L'analyse de l'évolution du parcellaire de culture, obtenu par télédétection Spot pour 1989 sur tout le delta (carte du Pirl) et par photo-interprétation pour 1952 et 1975 dans la partie occidentale du delta, a été réalisée en rapportant les surfaces cultivées à une grille de 10' x 10' d'arc, au nord de 14° et à l'ouest de 4°30. Cette grille recouvre en totalité les territoires communaux actuels de Diaka, Sougoulbé, Diondiori, Togué Mourari, en partie ceux de Diafarabé, Macina, Monimpébougou, Boky Wéré au Sud, de Toguéré Coumbé, Farimaké, Léré et Dianké au Nord, d'Ouro Modi, de Salsalbé, et de Togoro Kotia au centre du delta. La limite des terres inondées du delta amont couvre environ les deux tiers de la grille, soit 8 000 km^2, l'espace situé ainsi dans les limites du delta vif correspond aux bassins rizicoles de Ténenkou et à la partie ouest des bassins centraux qui s'étendent du Mourari au Kotia. Les trois dates étudiées (1952, 1975, 1989) correspondent à des crues très différentes. Les années qui précèdent et suivent de peu 1952 sont des années de crues pleines, avec une hauteur moyenne dépassant largement 7 m à l'échelle de Mopti. Les années soixante-quinze correspondent à des crues de l'ordre de grandeur de la crue climax (1971 : 650 cm, 1975 : 663 cm) avec cependant une mauvaise année (1972 : 565 cm). Quant aux années quatre-vingts, elles voient une longue série de crues maigres se traduisant par une hauteur moyenne d'environ 520 cm à Mopti.

19 De 1952 à 1975, les surfaces en riz augmentent de 65 % (de 59 651 ha à 98 644 ha) pour régresser ensuite de 22 % entre 1975 et 1989 avec 77 042 ha. Sur l'ensemble de la période 1952-1989, l'augmentation nette est de près de 30 %. Si on analyse l'évolution des taux d'occupation du sol par carré, on constate, durant la période 1952-1975, dans un contexte général de fort accroissement des surfaces cultivées, qu'une dizaine de carrés sur 23 présentent une évolution régressive allant pour quatre d'entre eux jusqu'à une possible disparition de la riziculture. La plupart de ces carrés sont situés en périphérie du delta, et deux d'entre eux se localisent vers le centre, l'un au sud du territoire actuel de Toguéré Coumbé, l'autre sur le territoire de Diondiori. Les carrés en fort accroissement sont situés vers le centre-sud de la zone, à l'exception de l'un d'entre eux situé dans la partie nord-est de la cuvette de Toguéré Coumbé. Pendant la période 1975-1989, l'évolution précédente se confirme et se renforce. On constate en effet l'abandon de carrés périphériques dont certains étaient déjà en déclin pour la période en 1952-1975. Inversement, 8 carrés sont en forte progression : ils constituent un bloc au centre-Sud de la zone, amarré aux cuvettes de Ténenkou, de Toguéré Coumbé, et, à l'Est, aux cuvettes de Moura et de Salsalbé. Outre l'abandon des marges occidentales du delta, le fait majeur nouveau à constater est l'abandon des carrés du Sud, vers 14°-14°10 de latitude, à la défluence Niger/Diaka. Ce sont, semble-t-il, la région de Diafarabé et le haut Diaka qui sont délaissés en cette seconde période.

20 Ainsi se dessine, pour la partie occidentale du delta, un double mouvement : une expansion des surfaces cultivées en riz, qui doublent quasiment en une vingtaine d'années, suivie d'un recul relatif de ces mêmes surfaces après 1975 (au total, les surfaces augmentent de plus de 30 % entre 1952 et 1989). Ce mouvement est accompagné du déplacement d'une partie de ces surfaces cultivées (délaissement des espaces périphériques, abandon de la défluence Niger/Diaka, au profit des cuvettes plus profondes situées dans la partie orientale de la région étudiée). Nous constaterons plus avant que cette translation ne peut se résumer à un délaissement des marges au profit du centre : la disposition géographique des principales cuvettes fait du delta amont un espace polycentrique. L'ampleur des changements survenus dans la partie occidentale du delta, la seule pour laquelle nous disposions d'éléments de comparaison sur le temps long – plus d'une génération en termes de durée humaine – laisse cependant pressentir qu'ils ne se produisent pas dans le cadre des actuelles communes ou *a fortiori* dans celui, plus restreint, des finages villageois, dont la valeur opératoire pour comprendre le système rizicole deltaïque peut, dès lors, susciter des interrogations.

Stratégies des riziculteurs

Une riziculture toujours d'autosubsistance

21 Ce paragraphe esquisse le bilan de l'évolution des surfaces cultivées en riz sur la totalité du delta amont. Il conviendra en particulier de déterminer si l'évolution constatée dans la partie occidentale est confirmée pour l'ensemble de la cuvette s'étendant de Ké-Macina au lac Débo ou si, au contraire, la déprise relative constatée entre 1975 et 1989 dans la partie occidentale, se traduit par des défrichements accrus dans d'autres régions. Outre un bilan des surfaces cultivées, nous nous appuierons essentiellement sur une comparaison entre le parcellaire des rizières à différentes dates et les formations végétales défrichées par les riziculteurs. Cette comparaison, obtenue par opérateur spatial, permet de mettre en évidence les choix stratégiques des riziculteurs et de répondre à l'interrogation précédente. Puis la comparaison rizières/formations végétales permet de relier le parcellaire de culture aux niveaux d'eau mis en évidence dans la partie précédente, et ainsi de mieux expliciter la relation complexe entre la riziculture pluvio-fluviale et la crue annuelle.

22 En 1920, un rapport anonyme (cité par Gallais, 1967 a) estimait les surfaces cultivées en riz entre Diafarabé et la lac Débo à 16 000 ha ; en 1935, Viguier (cité par Gallais, *ibid.*) avance la valeur de 64 500 ha ; pour la campagne 1957/58, Gallais (*ibid.*) assigne, pour le delta amont, une valeur de 79 000 ha aux rizières, qu'il rapporte aux 170 000 habitants des plaines du delta à cette époque. Nos propres estimations pour 1989, portant cette fois-ci sur la totalité de la cuvette du delta amont, suggèrent une fourchette comprise entre 136 000 et 159 000 hectares en rizières pluvio-fluviales, la valeur haute de la fourchette semblant la plus vraisemblable. Cette surface cultivée est à rapprocher de la population des plaines du delta à la même date. La population rurale vivant dans les limites de la crue climax de 6,60 m. Nous pensons donc que la population rurale vivant dans les limites du delta intérieur atteignait au maximum 340 000 personnes en 1987 pour une surface cultivée en riz de 159 000 hectares en 1989 (estimation maximum). En d'autres termes, si l'on compare la situation de 1958/1959 avec celle de 1989, on constate que les surfaces en riz ont été multipliées par deux en trente ans, alors que le disponible par tête, dans le meilleur des cas[9], serait resté à peu près constant (0,45 ha par personne en 1989 contre

0,47 ha par personne en 1957/58). D'autre part, Herry (1994) estime en 1987 que les riziculteurs (actifs masculins de 10 à 65 ans pratiquant cette culture) représenteraient 23 % de la population totale. En appliquant ce pourcentage à nos estimations de la population en 1987, le delta compterait 78 000 riziculteurs.

23 Deux points essentiels ressortent de cette analyse et de la comparaison avec l'étude de Gallais (*ibid*) :

- bien que la superficie des rizières ait doublé en 30 ans, la surface cultivée par habitant, c'est-à-dire, en définitive, par bouche à nourrir, serait, dans le meilleur des cas, restée stable (autour de 0,45 ha) ;
- bien qu'entre temps la pratique du labour à la charrue se soit généralisée, la surface cultivée par travailleur serait passée de 2,7 ha à 2,1 ha entre 1958 et 1989.

24 Selon Kuper et Maïga (*ibid.*), les habitants du delta déclarent « cultiver avec la charrue cinq fois plus de riz que leurs parents ». Lorsque l'on examine les données de terrain, l'affirmation semble relever davantage d'un propos incantatoire que de la réalité. La croissance des surfaces cultivées en riz semble suivre celle de la population et ses résultats évoquent plutôt une stagnation, voire une régression, que ce soit en termes de rendements, en termes de disponible par habitant ou par le maintien *d'Oryza glaberrima* liée aux pluies et à la crue de l'année. Ces mêmes conclusions ressortent de la minutieuse étude de Kuper et Maïga (*ibid.*) sur le commerce du riz dans le delta (Kuper *et al.*, ce volume[10]). Les bonnes années, la quantité commercialisée ne dépasse pas 10 000 tonnes, soit 10 % de la production maximum. Les mauvaises années, le delta est déficitaire en riz, montrant bien que la riziculture pluvio-fluviale demeure avant tout une activité d'autosubsistance.

25 En 1957/58, Gallais (*ibid.*) dressait discrètement le tableau d'une riziculture dont il pressentait qu'elle suivait une évolution régressive. Quarante ans plus tard, aucun argument ne vient infirmer son jugement. Il insistait particulièrement sur la mobilité de la riziculture : « Déplaçant continuellement la strate rizicole du haut en bas des plaines selon les crues, le riziculteur du delta est un cultivateur itinérant », et concluait en écrivant : « La riziculture du delta est plus nomade que la céréaliculture soudanienne pratiquée sur les bordures sèches ».

Des stratégies opportunistes

26 Qu'en est-il de nos jours de la mobilité des rizières mise en évidence par Jean Gallais ? La comparaison par opérateurs spatiaux de la couche d'information portant les formations végétales avec les couches d'information portant les surfaces cultivées en 1989 permet de déterminer les formations végétales les plus recherchées par les riziculteurs pour défricher leurs rizières et, partant, les stratégies mises en œuvre. Cette comparaison montre qu'à cette date, 95 % des rizières sont localisées sur 27 formations végétales parmi les 120 identifiées dans le delta, et que les premiers 80 % le sont sur 14 formations seulement. La formation végétale qui arrive en première place par l'importance de sa contribution aux surfaces cultivées en riz est B/OP[11] (14,3 % des rizières). A l'exception de quatre formations, les dix-sept formations les plus recherchées ont au moins la présence d'*Oryza barthii* ou d'Oryza *longistaminata* qui semble guider le plus fortement l'agriculteur désirant installer une rizière. Le fait n'a rien de surprenant, puisqu'Oryza *glaberrima* a des caractéristiques assez proches de celles des riz sauvages et que le recours à une plante

indicatrice pour choisir un endroit à défricher est d'un usage courant dans les savoirs et les pratiques des paysans.

27 La répartition des sols des rizières ne correspond pas à celle des grands types de sols dans le delta amont (horizonl) où les sols argilo-limono-sableux et limono-argileux prédominent, avec respectivement 38,9 % et 33,6 % des sols du delta alors que les sols argileux n'arrivent qu'en 4e rang seulement avec 6,4 % de la surface du delta. Aussi la majorité des rizières sont sur un horizon de surface (0-25 cm) limono-argileux et cette proportion reste toujours comprise entre 55 % et 65 %. Viennent ensuite des sols argileux pour à peu près 30 % des rizières. On peut penser cependant que le choix du sol, après celui de la profondeur de submersion espérée, joue un rôle. Gallais (*ibid.*) est peu explicite puisqu'il relève que : « La riziculture du delta n'est pas particulièrement favorisée par les sols des plaines inondables. Ceux-ci sont légèrement acides, pauvres en chaux et riches en humus. D'une façon générale leur fertilité augmente de haut en bas avec la durée de la submersion ». Nous pouvons cependant ajouter que le choix de sols limono-argileux et argileux correspond aussi au choix des sols les plus fins du delta, et qu'à ce titre, ils possèdent deux qualités intéressant le riziculteur : une bonne imperméabilité réduisant les pertes en eau par infiltration et une mise en place de cet horizon de surface dans des cuvettes où les courants sont les plus faibles. Cette faiblesse du courant est, pour le riziculteur, l'espoir d'une submersion lente, ne risquant pas ou risquant peu – de noyer les rizières. En conclusion, le riziculteur tente d'abord d'adapter sa rizière aux conditions de profondeur de submersion espérée ; il choisit ensuite les sols les plus fins – les plus argileux – en raison de leur fertilité mais aussi parce qu'ils sont, comme les formations végétales qu'ils portent, les témoins d'une submersion lente menaçant moins les jeunes plants de riz.

28 La comparaison des surfaces occupées par les rizières, dans la partie occidentale du delta (soit un espace d'environ 800 000 ha), en 1952, 1975 et 1989 avec les formations végétales, permet d'affiner le jugement et d'en déduire des stratégies que l'on pourra rapporter aux variations des crues depuis les années cinquante. En effet, l'évolution du choix des grandes formations végétales recherchées par les riziculteurs depuis 1952 conduit à deux constatations : les milieux à orizaie haute sont les plus sollicités mais en 1989 la formation à orizaie basse (située en niveau de crue 6, cf. tableau 3) occupe le premier rang au détriment de la formation précédente, qui se situe à un niveau de crue supérieur (niveau 5). Si les riziculteurs recherchent toujours les orizaies sauvages pour défricher, ils préfèrent maintenant celles situées dans le niveau le plus profond. En 1952, la formation à bourgou *Echinochloa s.* ne contribue que pour environ 5 % à la « production » de rizières et la formation à bourgoutière profonde de niveau 7 (à *Vossia c.*) n'est pas recherchée. En 1975, plus de 8 % des rizières sont défrichées dans les bourgoutières hautes, ce taux passant à plus de 14 % en 1989 et à plus de 4 % pour les bourgoutières profondes. En 1989, plus de 25 % des bourgoutières, toutes catégories confondues, sont défrichées, ce qui fait entrer directement l'agriculteur en compétition avec l'éleveur, puisque ces formations sont des pâturages très recherchés en raison de leur richesse exceptionnelle.

29 Delmasig permet d'établir une relation diachronique entre les surfaces cultivées en riz et les formations végétales les plus recherchées, ce qui permet de définir, de suivre et de cartographier « un espace des riziculteurs » sur quarante ans. Gallais (*ibid.*) estimait la surface rizicultivable du delta à 800 000 ha en 1957/58 et à 10 % la surface réellement cultivée en riz. Nos propres estimations, portant sur les formations végétales accueillant 80 % des rizières à submersion non contrôlée, sont un peu supérieures, de l'ordre de

850 000 ha en 1952. L'intérêt n'est pas la comparaison de ces deux valeurs, du reste très proches, mais l'évolution constatée ultérieurement. De 1952 à 1989, trois phénomènes s'entrecroisent pour orienter l'évolution de la riziculture dans le delta :

- les milieux rizicultivables diminuent fortement, passant de 850 000 ha à 650 000 ha, soit une baisse de 24 % ;
- les surfaces en riz sont multipliées par deux pendant la même période, sans qu'il y ait apparemment augmentation du disponible par individu.

30 Ainsi corrélativement, la pression sur l'espace augmente : en 1989, 80 % des surfaces cultivées (soit 127 000 ha sur les 159 000 ha disponibles) se localisent sur des formations végétales s'étendant sur approximativement 650 000 ha. La pression agricole passe donc de 10 % environ en 1957/58 à près de 20 % pour 1989. Cette augmentation de la pression rizicole s'accompagne d'un déplacement d'une partie des surfaces cultivées en riz. Deux types de déplacements semblent se surimposer. D'une part, des déplacements mis en évidence par Gallais (*ibid.*), de l'ordre de la dizaine de kilomètres, qui l'amenaient à qualifier la riziculture deltaïque de « riziculture errante dans un finage imprécis » ; il faut cependant remarquer que ses observations s'effectuaient avec un recul d'une quinzaine d'années seulement et dans un contexte de crues bonnes, voire très fortes (crues de 1953, 1954, 1955 atteignant 731 cm à Mopti). Et d'autre part, des mouvements de plus grande amplitude qui se révèlent sur le temps long et qui peuvent amener des déprises locales – voire régionales – et, *a contrario,* entraîner l'ouverture de nouveaux espaces que l'on serait presque tenté de qualifier de « fronts pionniers » ; ainsi les hautes terres de Diafarabé qui portent des rizières en 1952 sont abandonnées après cette date. Entre 1975 et 1989, les cuvettes profondes mises en évidence précédemment sont de plus en plus sollicitées, en particulier celles du Yongari Mangari, de Moura et au centre du Delta, les cuvettes de Sossobé, de Kadial, de Kakagnan, de Toguéré Coumbé ainsi que les plaines d'inondation profondes qui les entourent.

31 En définitive, la très forte mobilité des riziculteurs du delta apparaît bien comme une stratégie opportuniste visant à s'adapter aux fortes variations interannuelles de la crue. Gallais (*ibid.*) identifiait la mobilité de la riziculture comme une entrave au développement technique de ce système agricole, préalable à l'augmentation des rendements et au passage, fortement souhaitable, d'une riziculture de subsistance archaïque à une riziculture moderne, base économique des exploitations agricoles dans le delta. Il pensait également que le manque d'espace n'était pas une contrainte pour l'extension de ce type de riziculture.

32 Si cette affirmation ne peut être contestée à la fin des années cinquante, le fait paraît moins solidement avéré trente-cinq ans plus tard. Les rizières doublent de surface dans un espace qui se rétrécit de près d'un quart. Et si les riziculteurs ne semblent pas encore manquer d'espace pour étendre leur activité, le niveau de compétition – et potentiellement de conflits – pour l'accès à la terre entre riziculteurs, et pour l'accès aux ressources naturelles des autres groupes socio-professionnels, les éleveurs notamment, s'est fortement accru depuis cette époque avec une pression de la riziculture pluvio-fluviale sur le milieu que l'on peut estimer globalement en 1989 à 20 %, mais qui dépasse 25 % sur les bourgoutières, les pâturages les plus recherchés du delta pour leur productivité exceptionnelle que renforce encore la forte valeur symbolique assimilant le bourgou au pastoralisme et au groupe socio-ethnique peul.

La crue, moteur de la mobilité

33 Nous avons vu que Delmasig permet par l'analyse des conditions écologiques liées aux formations végétales – en particulier les hauteurs d'eau – de restituer les surfaces potentiellement inondables (tableau 3). Il permet également en comparant à différentes dates les espaces occupés par les rizières avec les formations végétales recherchées par les riziculteurs, d'analyser les relations entre ces rizières et les hauteurs d'eau.

34 Entre 1952 et 1989, les rizières occupent des niveaux d'eau de plus en plus profonds. Par rapport à l'échelle de Mopti qui nous sert de référence, le niveau moyen des rizières (profondeur moyenne pondérée par la surface occupée dans le niveau) passe de 5,36 m en 1952 à 4,74 m en 1989. Si près de 50 % des rizières en 1952 et en 1975 se situent en niveau 5 (profondeur d'eau comprise entre 5,10 m et 6 m à l'échelle de Mopti), la majorité se situent en niveau 6 (entre 3,80 m et 5,10 m à Mopti) en 1989.

35 Une autre approche de la relation rizières / profondeur de submersion peut être réalisée en matérialisant sur des couvertures l'emprise spatiale des lames d'eau « utiles » pour la riziculture à l'aide du modèle en isolignes d'égale profondeur de submersion. Les riz flottants se développent dans des régimes de submersion qui doivent satisfaire plusieurs conditions définissant notamment ce que doit être la « crue utile » pour la riziculture :

- une submersion maximale de 3 m, ce qui place la limite basse de la rizière à une cote équivalente à la hauteur maximum de la crue diminuée de 3 m ;
- une vitesse de montée de l'eau inférieure à 5 cm par jour ; -une durée de submersion minimum supérieure à 2 mois, condition qui détermine la position haute de la rizière[12] ;
- enfin, la rizière doit être inondée au plus tard 15 jours après la dernière pluie utile de la saison.

36 Pour le moment, Delmasig ne permet de modéliser en routine que les conditions une et trois[13]. Un développement futur permettra d'intégrer au modèle les conditions de vitesse des eaux et de durée de la crue et de les vérifier sur la totalité de l'espace deltaïque.

37 Nous avons choisi trois années très différentes pour illustrer la grande variabilité de l'espace des crues utiles : une bonne année 1994 (642 cm), une année moyenne 1978 (620 cm), une mauvaise année 1972 (565 cm). La hauteur H_60 jours représente la hauteur, pour la station de Mopti, qui correspond à une durée minimum de submersion de 60 jours et est assimilée à la hauteur maximum permettant d'espérer la réussite de la culture cette année-là. La valeur H_min correspond à H_max moins 3 mètres et correspond au « plancher » de la crue utile, c'est-à-dire la valeur au-dessous de laquelle les riz seraient noyés (tableau 5).

38 Ces valeurs reportées dans le modèle en isolignes d'égale profondeur de submersion permettent de cerner l'espace des crues utiles pour les trois années considérées, et d'en tirer notamment les cartes 2a et 2b de la figure 2, pour respectivement l'année moyenne (1978) et l'année sèche (1972). On constate que les lames utiles ne sont guère différentes, mais l'espace qu'elles occupent dans le delta amont est par contre très différent (fig. 2). En 1978, année moyenne, la frange inutilisable prend une grande extension tant sur la bordure occidentale qu'autour des *peroudji* allant de Kaïmankou à Dialloubé. Les hautes plaines de Diafarabé sont trop faiblement inondées pour être cultivées avec profit et dans le sud, les cuvettes du Pondori et du Yongari Mangari sont déjà bien séparées. Alors qu'en 1994 la riziculture apparaît possible sur la quasi totalité des plaines d'inondation du delta vif, en 1978, année moyenne, l'espace des riziculteurs apparaît fortement fragmenté et

centré sur les grandes cuvettes hydrologiques. Enfin l'année 1972 est une mauvaise année avec une lame utile spatialement très réduite et de plus, très fragmentée. Elle n'est constituée que de noyaux centrés principalement sur les cuvettes profondes qui apparaissent elles-mêmes très fragmentées (comme les cuvettes du Pondori ou de Ténenkou) ou très réduites (cuvette de Moura).

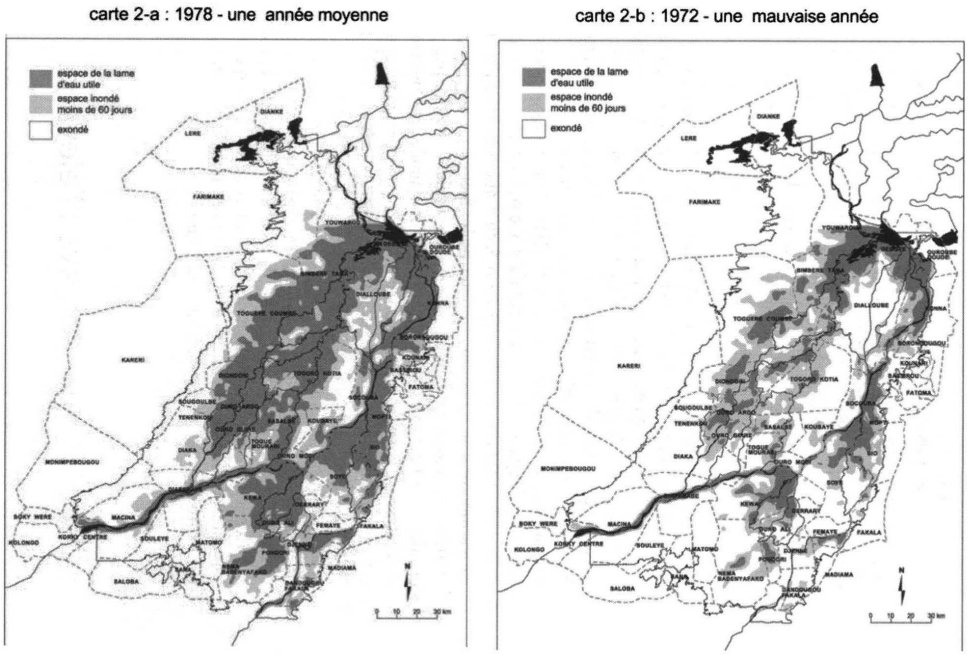


Figure 2. Espaces des crues utiles dans le delta intérieur du Nig er déterminées par un modèle en isolignes d'égale profondeur de submersion.

Tableau 5. Les caractéristiques de la lame d'eau utile pour trois années.

Années	H_max	date H_max	H _60jours	début H_60jours	H_min	Lame utile
1994	642 cm	29/10/94	613 cm	03/10/1994	342 cm	271 cm
1978	620 cm	22/10/78	566 cm	18/09/1978	320 cm	246 cm
1972	565 cm	07/10/72	505 cm	09/09/1972	265 cm	270 cm

39 L'emprise spatiale de la lame utile est de 830 000 ha en année moyenne, et fluctue de 332 000 ha en année sèche (type 1972) à plus de 1 340 000 ha en année humide (type 1994). Mais attention, la totalité de l'espace de la lame utile n'est pas cultivable puisqu'elle ne prend en compte que les conditions de l'inondation. Il faudrait en particulier croiser ces informations avec celles portant sur le choix des sols afin d'affiner l'approche, année par année, de l'espace utile des riziculteurs. Ce point n'est pas traité ici mais sa réalisation dans le SIG ne présente aucune difficulté. Les cartes montrent très clairement deux phénomènes : d'une part, les grandes variations de l'emprise de la lame utile et, d'autre part, les décalages dans l'espace de la lame selon l'année, permettent la riziculture à un endroit telle bonne année, ne la permettant plus à cet endroit lors d'une mauvaise année. Cela illustre bien le fait que le nomadisme agricole des riziculteurs est un phénomène de grande ampleur qui ne se résout ni dans les limites étroites de finages villageois ni dans

celles, élargies, des nouvelles communes rurales. C'est en réalité la totalité du delta intérieur qui doit être prise en compte si on veut proposer une solution à la question suivante : comment dépasser le stade d'une riziculture nomade à faible productivité et aux résultats incertains ?

Forte compétition avec l'élevage

40 La riziculture apparaît donc à la fois prédatrice d'espace et mal assurée de ses emprises avec toutes les conséquences que l'on peut en tirer en termes de pauvreté, comme en termes de conflits pour l'utilisation de l'espace entre riziculteurs, mais aussi et surtout entre riziculteurs et éleveurs. En effet, l'originalité du delta tient pour une part à l'exceptionnelle productivité de ses pâturages inondés. Les plus riches d'entre eux – les bourgoutières – ont une productivité que l'on peut situer entre vingt et trente tonnes de matières sèches à l'hectare, c'est-à-dire quinze à vingt fois celle d'un bon pâturage sahélien. Des bourgoutières existent ailleurs, notamment dans la vallée du Sénégal et dans celle du Niger, mais nulle part ailleurs en Afrique de l'Ouest ne se réalise la conjugaison d'une telle productivité de pâturages et d'une telle étendue. A cet égard, le delta intérieur du Niger est donc un espace unique. Richesse exceptionnelle des pâturages et rythme marqué par la crue constituent donc à la fois les atouts et les contraintes du milieu, mais l'originalité du delta tient aussi à l'existence d'une infrastructure foncière pastorale, elle aussi unique à bien des égards, et dont la création est l'œuvre du pouvoir politique peul à un moment historique particulier. Les éleveurs peuls investirent progressivement le delta intérieur à partir du XV^e^ siècle mais c'est au début du XIX^e^ siècle (vers 1827), sous l'impulsion d'un souverain peul, Cheikou Ahmadou, que les éleveurs peuls furent sédentarisés au cours d'un épisode historique connu sous le nom de « *Diina* ». La *Diina* réglementait la vie des hommes du delta intérieur selon un code très strict de dépendance au profit du groupe peul, politiquement et militairement dominant. Elle créait également une organisation originale de l'espace, divisé en territoires agropastoraux – les *leyde* - dotés d'un code foncier pastoral très strict. Chaque *leydi* reposait sur l'existence d'un groupe socio-ethnique (Peul) qui s'est imposé à d'autres groupes rendus serviteurs ou obligés (Rimaïbé, Bozo, Bambara, Marka...), sur une richesse plus ou moins grande du groupe dominant en troupeaux (*cefe*) regroupés en *eggirde* (sing. *eggirgol*) – chaque *eggirgol* ayant au moins un *Jowro* (chef-berger) -, enfin sur un territoire où s'inscrivent les rapports socio-économiques entre les groupes précédemment nommés au profit du groupe d'éleveurs dominant. Ce territoire est composé d'un ensemble de villages comprenant le *Wuro* peul et le *Saare,* village de culture des serviteurs ou obligés, de terres de culture plus ou moins proches des villages, de pâturages utilisés par l'ensemble des troupeaux, d'un réseau de pistes – les *burti* (sing. *burtol*) – et de gîtes – les *bille* (sing. *winde*) – qui permettent aux troupeaux de circuler et d'accéder aux pâturages en évitant la promiscuité avec les champs, enfin de règles d'accès aux pâturages fondées sur la préséance liée au statut social du propriétaire du troupeau dans la société peule.

41 Seule la coexistence de ces trois éléments – groupe d'éleveurs dominant, troupeaux, espace assujetti à certaines règles foncières -fonde le *leydi* (Marie, 1983). Actuellement, le fondement même de l'organisation socio-territoriale en *leyde* - domination économique et politique d'un groupe d'éleveurs, propriété d'un important cheptel, contrôle d'un espace agropastoral au moyen d'un code foncier – est largement remis en cause, à des degrés divers, par l'évolution politique, économique et sociale de la région. Cependant, le plus

étonnant est sans doute que l'organisation de l'espace, tout en étant contestée, a en partie survécu pendant plus d'une centaine d'années à la fin du pouvoir politique peul sur le delta. Notre propos n'est pas ici d'en discuter mais simplement de le constater. La mission qui fut la nôtre, lors de l'étude Cipéa / Odem (1983), consistait précisément à réaliser un état des lieux de l'infrastructure foncière pastorale. L'étude menée entre 1980 et 1983 recensait et cartographiait 32 *leyde* dans le delta intérieur et une infrastructure de pistes pastorales (3 600 km) et de gîtes (1014 *bille*) d'une étonnante complexité. Il nous était également demandé de procéder à des évaluations aussi précises que possible du nombre d'animaux fréquentant les pâturages du delta intérieur à différents moments de l'année, à partir de comptages par survols aériens systématiques à basse altitude. Il nous fallait également recenser les troupeaux et leurs propriétaires, tenter d'établir les droits de chacun, recenser les conflits... Comment et sur quelles bases organiser une infrastructure foncière pastorale indispensable à l'élevage dans un contexte radicalement différent de celui de la *Diina ?* Depuis fort longtemps, le pouvoir politique n'est plus peul et la très grande majorité des habitants du delta, si leur ethnie est encore synonyme d'activité dominante (agriculteur, éleveur, pêcheur), en pratiquent plusieurs : on peut en même temps être pêcheur, cultiver un champ de riz et être propriétaire d'un troupeau qui s'insérera dans un *eggirgol.* L'organisation que nous proposions devait prendre la forme de territoires agropastoraux de grande taille (de l'ordre de grandeur d'une commune rurale actuelle...) dirigés par un conseil élu au suffrage universel qui aurait eu pour tâche essentielle de gérer la terre et les ressources naturelles au mieux des intérêts des membres de la communauté (Hiernaux *et al.*, 1583 ; Marie, 1983). La partie réglementaire et juridique fut réalisée sous la direction d'Alain Rochegude, juriste reconnu pour ses travaux sur le droit de la terre au Mali. Deux unités expérimentales furent prévues, l'organisation allant jusqu'aux discussions finales pour la préparation du processus électoral. Le gouvernement malien de l'époque n'accepta pas l'application d'une telle solution. La création, par la loi de décentralisation de 1996, de communes rurales maillant tout le territoire national pourrait offrir un nouveau cadre territorial favorable à la recherche de solutions aux conflits fonciers opposant agriculteurs et éleveurs. Dotés d'un exécutif élu au suffrage universel mis en place en 1999, les conseils communaux ont en effet la responsabilité des programmes de développement économique et celle de la gestion des ressources naturelles, catégorie dont relèvent notamment les pâturages.

42 Dans cette perspective, Delmasig représente un outil de gestion et d'aide à la décision. Il permet, par exemple, d'analyser la répartition des bourgoutières et leur taux de défrichement en 1989 (25 % en moyenne mais avec des variations locales considérables) comme le montre la carte de la figure V hors texte représentant l'état des bourgoutières en 1989. Delmasig permet également de modéliser les productions des pâturages mois par mois et d'établir des scénarios d'utilisation des pâturages en fonction de l'emprise spatiale des cultures, la faible valeur fourragère des chaumes de riz et de mil étant prise en compte. Cependant ce n'est pas tant la perte de production herbacée annuelle suscitée par les défrichements qui retient l'attention, que le fait que les chaumes de mil ou de riz n'entraînent pas de repousses après un premier broutage. Au contraire les pâturages inondés présentent des repousses qui se développent jusqu'au mois de juin et peuvent atteindre des valeurs journalières de 30 à 60 kg de matière sèche à l'hectare pour les bourgoutières, soit la possibilité de nourrir 5 à 10 bovins à l'hectare pendant la saison sèche. Rappelons qu'il faut en moyenne 10 hectares de pâturages sahéliens pour nourrir un bovin pendant la saison sèche... Delmasig permet également de constater qu'en 1989, les gîtes cultivés représentaient environ 24 % de l'ensemble des gîtes du delta,

pourcentage très proche de la superficie des bourgoutières défrichées. En effet, les gîtes cultivés dans le delta se rencontrent principalement dans la région de Ténenkou (le *Maasina* historique), dans le sud de Mopti, le long de la bordure orientale du delta entre Mopti au Sud et Konna au Nord, sur un arc de cercle, le long des pistes du Wuro Ali menant à la cuvette du Yongari Mangari, le long d'un axe qui, partant de Moura, traverse les *leyde* Salsalbé et Sossobé et se poursuit le long du *Burtol* du Jallubé Burgou menant au lac Débo.

Conclusion

43 Nous avons vu que les choix d'espace des riziculteurs apparaissent très sélectifs par rapport à l'ensemble des formations végétales présentes, que ces choix semblent guidés préférentiellement par l'existence d'orizaies, à l'état pur ou le plus souvent associées avec d'autres formations, et que, parmi celles-ci, les formations à bourgou, dédiées traditionnellement à l'élevage, sont de plus en plus sollicitées. Aussi l'analyse des formations végétales et de leur relation avec la crue, de l'emprise de la riziculture, de la répartition des hommes et de la productivité des pâturages, des *leyde* et des infrastructures pastorales réalise une approche pertinente des dynamiques de gestion dans le delta intérieur du Niger. Nos réflexions ont été systématiquement replacées dans les cadres territoriaux des nouvelles communes rurales instaurées par la loi de Décentralisation de 1996 et mises en place en 1999. Les solutions aux conflits opposant notamment les éleveurs aux agriculteurs ou les éleveurs entre eux que nous préconisions en 1983 ne pouvaient se mettre en place dans le contexte sociopolitique prévalant au Mali à cette époque. Elles prennent par contre tout leur sens dans le cadre des nouvelles communes rurales dotées d'un exécutif élu au suffrage universel. L'émergence d'une citoyenneté locale, ayant en charge les problèmes de développement et exerçant des responsabilités en matière de gestion des ressources naturelles, peut laisser espérer la possibilité de voir les conflits d'usage se régler dans ces nouveaux cadres territoriaux.

44 L'utilisation du système d'information géographique Delmasig permet d'esquisser le bilan d'un delta intérieur du Niger contrasté : des pâturages dont la productivité est fortement entamée par une riziculture nomade à très faible productivité et prédatrice d'espace, une infrastructure pastorale qui, localement très menacée mais semblant intacte en d'autres lieux, révèle des espaces très chargés d'enjeux spatiaux et de conflits... Cependant cette situation conflictuelle ne correspond pas à l'ensemble du delta intérieur. L'un des apports de Delmasig est précisément de faire la différence entre ces espaces disputés et des espaces qui, en apparence, semblent moins chargés de conflits potentiels. Il apparaît clairement que le delta intérieur du Niger ne se réduit pas au Maasina ou aux espaces proches de Mopti.

45 L'un des enseignements qu'apporte aussi Delmasig est que la gestion des espaces (espace des riziculteurs, espace pastoral, etc.) ne peut se réduire à l'espace des communes. Les nouvelles communes rurales peuvent constituer le cadre de politiques de développement agricole, pastoral, piscicole en offrant à leurs citoyens l'occasion de participer aux décisions et aux réalisations les concernant. Mais les politiques communales devront être coordonnées au niveau régional. Le fait est évident pour le pastoralisme qui s'appuie sur un réseau de pistes prenant en compte l'ensemble de l'espace deltaïque, mais il l'est tout autant pour la pêche et pour la riziculture que l'on ne peut, dans l'état actuel, enfermer dans un cadre communal. Si l'on veut bien considérer que les deux grandes activités

productrices de richesse monétaire dans le delta sont l'élevage et la pêche, le développement de ces activités passe, au moins en ce qui concerne l'élevage, par une sécurisation des infrastructures pastorales et des pâturages. Cette sécurisation ne peut être garantie qu'en modifiant profondément les pratiques des riziculteurs. Il faut donc d'abord sécuriser la riziculture – des expériences très encourageantes de petits périmètres irrigués existent déjà dans le delta – afin qu'elle ne soit plus cette activité prédatrice d'espace qui, de surcroît, nourrit mal ses habitants. Une riziculture moderne, consommant moins d'espace, est possible. Elle pourrait s'appuyer sur la création de périmètres irrigués protégés par des digues formant des sortes de polders, l'alimentation en eau du périmètre s'effectuant par ouverture de vannes lorsque la crue le permet avec un pompage d'appoint lorsque les crues se révèlent insuffisantes. La réalisation de ces périmètres offrirait plusieurs avantages : sécuriser le foncier agricole et permettre des rendements comparables à ceux réalisés dans l'Office du Niger voisin. Sécuriser également l'espace pastoral (et l'espace halieutique) qui ne serait plus soumis aux contraintes exercées par l'errance des rizières. Une telle solution suppose des investissements importants consacrés à l'agriculture. A cette condition, la riziculture du delta peut devenir une activité économique stabilisée dans ses emprises spatiales et cessant du même coup, sous la contrainte de la variabilité des crues, d'être un des éléments perturbant les arrangements spatiaux du delta. Il deviendrait alors possible de remettre en ordre les pratiques pastorales du delta, sur la base d'un nouveau code pastoral qui reste à définir, mais dont l'assise spatiale, sociale et politique serait la commune, l'indispensable coopération entre les communes se réalisant au niveau régional.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Adésir-Schilling M., 1999 – *L'herbe, le poisson et le riz.* Thèse doct., Géographie, univ. Paris-I, 497 p.

Cipéa/Odem, 1983 – *Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali.* 5 volumes, Cipéa-Odem, Bamako et Adis-Abéba, 1 100 pages, 60 cartes au 1 :50 000.

Cissé S., Gosseye P. A, 1990 – *Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali.* Rapport 1 : Ressources naturelles et population, Cabo, Wageningen, Pays-Bas, ESPR, Mopti, Mali, 106 p.

Gallais J., 1967 a – *Le delta intérieur du Niger, étude de géographie régionale.* Mémoire Ifan, Dakar, 79, 2 vol., 621 p.

Gallais J., 1967 b – *Le delta intérieur du Niger et ses bordures : étude morphologique.* Mémoires et documents du CNRS, vol. 3, 154 p., 5 cartes.

Gallais J., 1984 – *Hommes du Sahel.* Paris, Flammarion, 289 p.

Gauthier B., Godron M., Hiernaux P., Lepart J., 1977 – Un type complémentaire de profil écologique : le profil écologique « indicé ». *Journal canadien de botanique,* 55 : 2859-2865.

Haywood M., 1981 – *Évolution de l'utilisation des terres et de la végétation dans la zone soudano-sahélienne du projet Cipéa au Mali.* Doc. Cipéa-Odem, Bamako et Addis-Abeba, 187 p.

Herry C, 1994 – « Démographie des pêcheurs ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 123-142.

Hiernaux P., 1980 – *La carte des ressources fourragères des parcours du delta intérieur du Niger.* Notice Cipéa-Odem, Bamako et Adis-Abéba, 98 p.

Hiernaux P., Cissé M. I., Diarra L, Coulibaly M., 1983 – « Les pâturages de la zone d'études ». *In : Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali,* vol. 1, Cipéa-Odem, Bamako et Adis-Abéba, 132 p.

Hiernaux P., Diarra L., 1986 – *Bilan de cinq années de recherches (sept. 1979-sept. 1984) sur la production végétale des parcours des plaines d'inondation du fleuve Niger au Mali central.* Doc. Cipéa-Odem, Bamako et Adis-Abéba, 66 p.

Hiernaux P., Haywood M., 1981 – *Cartes des pâturages du delta vif de la République du Mali, 1 :50 000.* Doc. Cipéa-Odem, Bamako et Adis-Abéba, 30 feuilles.

Kuper M., Maïga H., 2000 – *Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Études et rapports Gihrex, ER52, IRD, Bamako, Mali, 39 p.

Marie J., 1983 – *Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Rapport de synthèse, Cipéa-Odem, Addis-Abeba, 151 p.

Marie J., 2000 – *Delmasig : hommes, milieux, enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali).* HDR, univ. Paris-X, 420 p. et atlas (63 cartes).

NOTES

1. « Centre international pour l'élevage en Afrique » créé en 1975 par le CGIAR (*Consultative group for international agronomical research*), le Cipéa (Ilca en anglais) est devenu maintenant l'Ilri (*International livestock research institute*).
2. Opération de développement de l'élevage de la région de Mopti.
3. Projet d'inventaire des ressources ligneuses.
4. « Bourgou » peut être pris dans de deux sens différents : le premier est celui de pâturage inondé, ce que rend parfaitement l'expression de J. Gallais. Le terme peut également désigner plus spécifiquement les pâturages à *Echinochloa stagnina* d'extension limitée.
5. dont le quart était défriché en 1989.
6. La hauteur de 380 cm, rappelons-le, n'a jamais été constatée à Mopti comme hauteur maximum d'une crue annuelle. La valeur la plus faible observée est 440 cm en 1984.
7. Le réseau hydrographique figurant sur la carte des cuvettes est dû à l'obligeance de l'équipe IRD du projet de recherche Gihrex.
8. Ces espèces seraient au nombre de 41 selon Viguier P., *Les emblavures de 1935* (1939), cité par Gallais (1967 a).
9. Nos estimations sont minimum pour la population et maximum pour les surfaces cultivées.
10. Kuper M., Maïga H., ce volume – « Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger (Mali) ». *In : partie 3.*
11. B pour bourgoutière et OP pour orizaie basse (cf. tab. 1).
12. La différence entre les conditions 1 et 3 définit la strate de sécurité.

13. Les régressions calculées dans DELMASIG sur des exemples précis entre la date d'arrêt des pluies utiles et la date d'arrivée de la crue montrent que le délai maximum de 15 jours n'est plus assuré, dans la majorité des cas, au nord de 15°10. Quant à la condition 2 (la vitesse de montée de l'eau), l'étude des crues à Mopti depuis 1943 montre que cette vitesse est rarement dépassée pendant la période de croissance du riz, sauf pendant les très mauvaises années.

AUTEUR

JÉRÔME MARIE

Géographe. Université Paris X, 92001 Nanterre cedex, France, marie@msh-paris.fr

Dynamique des usages des vallées péri-urbaines de Ngaoundéré

Cas de la plaine inondable de Marza

Michel Tchotsoua, Jean Boutrais et Jacques Bonvallot

1 La crise économique a provoqué, dans les villes camerounaises et leurs périphéries, le développement d'une agriculture vivrière intensive. A Yaoundé et dans ses environs, par exemple, tous les espaces cultivables sont exploités pour ravitailler la ville et/ou pour permettre aux citadins d'assurer des ressources monétaires qui leur font défaut suite aux diminutions successives des salaires de la fonction publique (-70 % en 1993) et à la dévaluation du franc CFA (Tchotsoua et Bonvallot, 1994 ; 1997). Les salariés ayant perdu leur emploi (les compressés du langage populaire) se sont souvent reconvertis dans cette forme d'agriculture ou ont mis au travail sur les champs une partie de leur famille. Ainsi, l'agriculture est devenue pour eux une ressource indispensable, assurant à la fois la nourriture de la famille et un complément de ressources financières. Les villes secondaires du Cameroun n'ont pas échappé à cette nouvelle logique. A Ngaoundéré, chef lieu de la province de l'Adamaoua, la vallée inondable de la rivière Marza, située à environ 3 km au sud de la ville, accueille depuis une dizaine d'années, une activité agricole vivrière pratiquée presque entièrement par des citadins. Cette nouvelle activité a introduit des bouleversements tant au niveau des paysages que des usages du sol. Notre contribution, qui s'articule autour de la question élevage-agriculture dans les vallées périurbaines, vise à retracer l'histoire des mutations paysagères, des comportements et des stratégies des acteurs en vue d'apprécier l'impact de la nouvelle donne sur les productions dans la plaine de la Marza.

Cadre physique

2 La vallée est située au sein du district volcano-granitique de Ngaoundéré appartenant lui-même au complexe granito-volcanique de l'Adamaoua (Lasserre, 1957 ; Temdjin, 1986). D'orientation NO-SE, la rivière Marza est un tributaire de la Vina-Sud qui s'écoule du nord-est vers le sud-ouest. Le bassin versant de la Marza a une morpho-diversité

importante. Le bassin amont, caractérisé par des pentes relativement fortes (18 % en moyenne) est disséqué par un dense réseau de petits ruisseaux temporaires (fig. 1). Le versant Nord est constitué d'une série de mornes granitiques rocailleux et d'un cône volcanique égueulé. Le versant Sud présente aussi un ensemble de cônes volcaniques (en particulier le volcan Tizon au cratère occupé par un lac) et de mornes granitiques étroitement associés. Comme la vallée de la Vina, celle de la Marza a été obstruée à la fois par des coulées volcaniques et des dépôts de cendres vers le tiers inférieur de son cours. Le large bas-fond qui en a résulté est occupé à la fois par des dépôts volcaniques en provenance directe des appareils éruptifs et par les produits d'érosion des versants granitiques, basaltiques et phonolitiques qui s'y sont déposés. Il en résulte des sols relativement légers, faciles à cultiver après leur ressuyage post-inondation durant la saison des pluies. La végétation naturelle qualifiée de savane arborée à *Daniella oliveri* et à *Lophira lanceolata* (Letouzey, 1969) plus ou moins dense, n'est plus représentée ici que par quelques reliques repérables autour du lac Tizon. La couverture ligneuse est dominée par *Terminalia glaucescens, Lannea chimperi, Tamarindus indica* et *Annona senegalensis.*

3 Le climat est de type soudanien avec une pluviosité de 1 400 mm répartie sur 6 à 7 mois (de fin avril à mi-octobre) (Tchotsoua, 1999). La plaine est inondée de juillet à novembre, le maximum de l'inondation se situant au mois de septembre. Elle est alors recouverte sur plus de la moitié de sa superficie par une tranche d'eau d'une trentaine de centimètres. De petites sources situées à ses limites, vraisemblablement alimentées par le lac Tizon (les sources Tizon mentionnées par les habitants de la vallée), contribuent également à l'inondation, essentiellement au début de la montée des eaux. Celle-ci est relativement rapide au début de la saison des pluies, la superficie du bassin versant étant très réduite (12 km²). Vers l'aval, après le franchissement du seuil qui commande le niveau de la plaine, les eaux de la Marza se perdent dans celles de la vaste cuvette de la Vina-Sud.

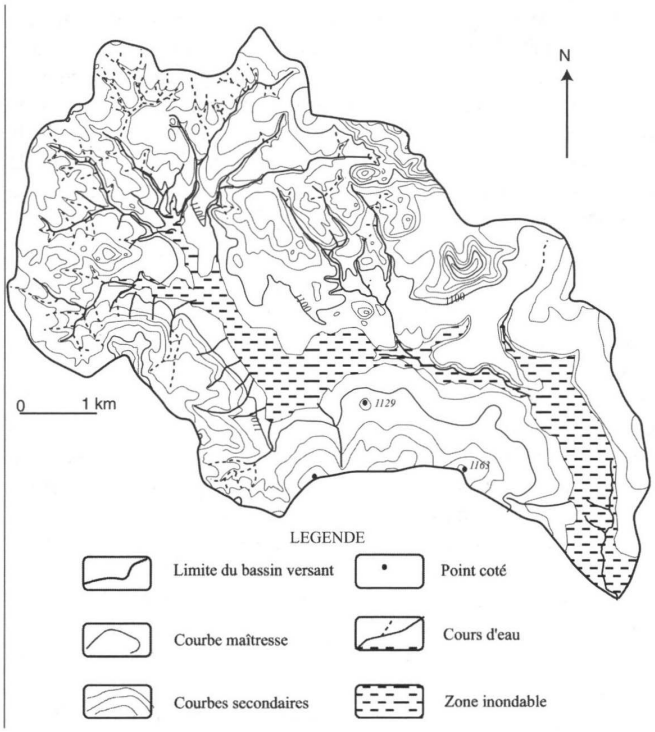


Figure 1. Orographie du bassin versant de la Marza.

Réorganisation et recomposition de l'occupation du sol

4 Jusqu'aux années 1980, la plaine de la Marza n'avait qu'une activité pastorale de saison sèche. Les bouviers qui conduisaient leurs troupeaux à la source natronée (*lahoré*) de la Vina les faisaient paître dans ce vaste bas fond sur des herbages à *Maricus cylindricastachyus, Cyperus zoolengeri, Kyllinga odorata et Trifolium baccarinii* (Yonkeu, 1993). Pendant tout le début du siècle, la source natronée de la Vina, située à seulement 3 km en aval de la confluence Marza-Vina, était le centre pastoral de la région de Ngaoundéré. Dès le début de la saison sèche, des milliers de têtes de bétail convergeaient vers ce lieu pour y pratiquer une véritable cure, comparable à la cure salée des élevages sahéliens. A l'aller comme au retour, les troupeaux empruntaient de grandes pistes à bétail (*burtol*) dont plusieurs traversaient la vallée de la Marza. Le passage le plus fréquenté (*fehirde Marja* : le gué de Marza) se trouvait au milieu de la vallée, à l'endroit du rétrécissement de la zone inondable (fig. 1).

5 En plus de ces allées et venues incessantes de troupeaux, la vallée offrait des pâturages appréciés. En effet, chaque cure natronée durait environ une semaine. Après l'abreuvement quotidien, les troupeaux étaient conduits vers les pâturages. Ceux des environs immédiats de la source natronée se trouvaient vite dégarnis, si bien que des bergers poussaient les troupeaux jusqu'à Marza. Cette vallée, de type *naddere* en langue peule (terres basses inondables) (Boutrais, 1978), offre des pâturages appréciés en saison sèche à cause de graminées abondantes qui restent longtemps vertes grâce à l'humidité résiduelle dans le sol, et de points d'eau permanents. Les troupeaux pâturaient sur le plancher alluvial et, chaque soir, ils étaient repliés vers les premières pentes, près des campements (*waalde*). Des campements saisonniers, simples huttes provisoires, jalonnaient ainsi les versants de la Marza. Quelques riches éleveurs pratiquaient un système agro-pastoral plus complexe qui s'appuyait sur des hameaux (*rumde*) habités par des esclaves. En saison des pluies, les troupeaux stationnaient près des *rumde* éloignés au Nord mais en saison sèche, ils venaient au *rumde* de Marza pour effectuer la cure natronée.

6 Le stationnement de troupeaux sur tous les versants de la Marza laissait de nombreuses aires fumées qui ne manquaient pas d'attirer les cultivateurs. Cependant, la densité de cheptel était telle, surtout en début de saison sèche, que des dégâts survenaient aux cultures pas encore récoltées. Dans ces affaires, l'administration donnait l'avantage aux éleveurs, afin de protéger les accès au *lahoré.* Ce faisant, elle ne faisait que poursuivre la politique pré-coloniale des souverains foulbé pour qui ce secteur était *babal na'i* : secteur d'élevage. Un décret de 1937 institue ainsi une réserve d'élevage dans un rayon de 10 km autour de la source natronée, englobant la majeure partie de la vallée de la Marza. Cette vocation pastorale fut affirmée durant toute la période coloniale.

7 Par ailleurs, en saison des pluies, certains troupeaux continuaient à exploiter les versants aux sols ressuyés de la vallée. Ces troupeaux appartenaient à des Foulbé citadins, en particulier à des femmes. Celles-ci appréciaient les pâturages de Marza parce qu'ils étaient peu éloignés de la ville ; elles pouvaient donc s'y rendre aisément. Telle femme avait placé son troupeau à Marza sous la garde d'un berger, tandis que le troupeau de son mari se trouvait plus loin au nord de la ville. Péri-urbain, cet élevage était également

laitier, avec deux façons de valoriser cette production. Des propriétaires citadins allaient voir leur troupeau pendant quelques jours et consommaient alors beaucoup de lait. Des femmes foulbé faisaient régulièrement ces séjours auprès de leur troupeau. D'autres troupeaux fournissaient du lait qui était transporté en ville et vendu à des consommateurs, surtout européens. Dans les années 1950 et 1960, le chef d'un petit village proche de Marza était ainsi réputé pour sa richesse en bétail et ses troupeaux de vaches laitières qui ravitaillaient Ngaoundéré. Ces troupeaux occupaient les versants de la haute vallée de la Marza, les plus proches de la ville.

8 A partir des années 1970, l'activité pastorale a décliné dans la vallée, à la fois en saison sèche et en saison des pluies. La pratique de la cure natronée n'a plus attiré de grands effectifs de bétail pour plusieurs raisons. Le sel acheté au marché permet désormais d'assurer la cure salée. Ce qui remplace valablement la cure natronée qui coûtait relativement plus chère en temps. Par ailleurs, la rencontre entre les troupeaux venus de divers horizons était généralement source de diverses épizooties. De plus, des cultivateurs se sont installés au milieu des pâturages sans être inquiétés par l'administration. Pourquoi serait-elle intervenue puisque le *lahoré* n'était plus indispensable aux éleveurs ? La zone inondable de Marza est finalement devenue un petit pâturage de saison sèche parmi tant d'autres. Quant à l'élevage péri-urbain en saison des pluies, il s'est éloigné de Marza, devant l'extension des cultures d'abord, puis la construction de nouveaux quartiers. Au cours des années 1980, l'agglomération de Ngaoundéré s'est étendue de façon considérable au-delà de la vieille ville. Les troupeaux ne peuvent plus stationner aux abords de celle-ci. Pour amener des animaux au marché à bétail, il faut contourner la ville, avec beaucoup de difficultés, disent les éleveurs.

9 Au milieu des années 1980, la ville de Ngaoundéré avait une population d'environ 100 000 habitants dont 4 000 salariés du secteur public et 7 850 du secteur para-public et commercial. La nécessaire agriculture vivrière péri-urbaine se limitait aux abords immédiats de la ville entre le quartier de l'Hôpital norvégien et la « vieille ville ». Les habitants du village Marza n'exploitaient que les pentes de raccordement entre la plaine inondable et les versants montagneux. En 1986, avec le début de la crise économique qui se caractérise par des difficultés de trésorerie pour l'État camerounais et donc une irrégularité croissante dans le versement des salaires de la fonction publique, quelques citadins se rendent dans la vallée et achètent des parcelles pour « cultiver les légumes ». En 1993, avec les baisses drastiques des salaires de la fonction publique, c'est la ruée des citadins vers les vallées inondables aux environs de la ville de Ngaoundéré (vallées de Mabanga, de Mardok, de Djarendi et de Marza). Les achats de terre se multiplient et la plaine de la Marza se trouve ainsi accaparée par des néo-agriculteurs qui plantent des arbres fruitiers (signe de l'appropriation), cultivent le maïs, le manioc, les légumes, le bananier plantain, le taro, le gombo et les patates douces. Ces agriculteurs modifient non seulement la physionomie (fig.2), mais aussi et surtout la vocation initiale de la plaine pour l'élevage. De nouveaux acteurs font ainsi irruption dans la vallée et de nouvelles pratiques se développent tant pour la conservation de la fertilité des sols que pour le contrôle des eaux dans les parties les plus mal drainées.

10 La plaine de la Marza est actuellement exploitée par 450 agriculteurs citadins, 70 maraîchers, dont certains habitent Ngaoundéré, et 22 éleveurs transhumants venant de Dibi et Hanloa (à plusieurs dizaines de kilomètres) pour occuper la vallée durant la saison sèche avec des troupeaux d'un effectif unitaire moyen de 70 têtes. Les 25 agriculteurs résidant sur place à Marza ainsi que les 6 agriculteurs-éleveurs des hameaux situés en

bordure de la plaine (fig. 2) sont donc très largement minoritaires par rapport à la grande masse de tous ceux qui viennent de la ville. Les superficies possédées sont variables en fonction des ressources monétaires disponibles au moment de l'achat. Le plus grand exploitant agricole, un néo-agriculteur, dispose de 14 ha de terrain qu'il laboure au tracteur. Il occupe par ailleurs d'importantes fonctions judiciaires à Ngaoundéré. Les plus modestes se limitent à des parcelles de l'ordre de 5 ares entièrement cultivées sans moyen mécanique particulier. Il s'agit alors plus de jardinage que d'une véritable agriculture.

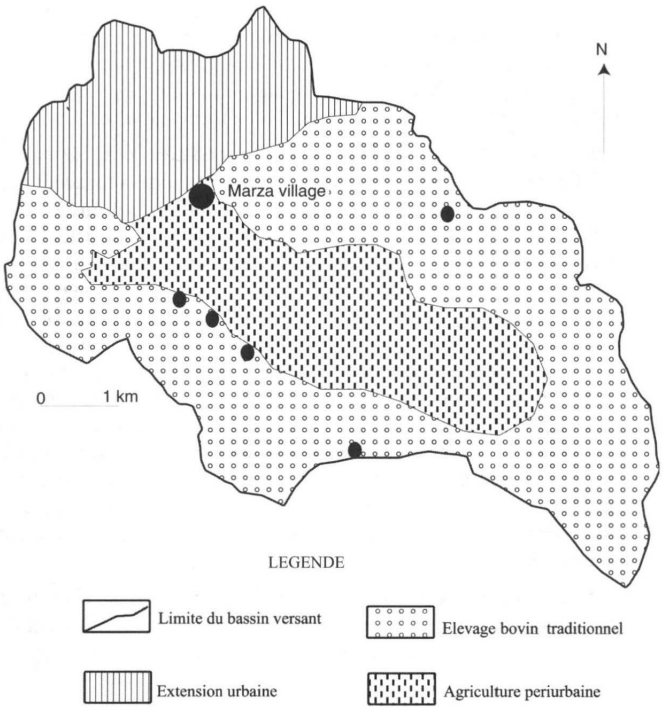


Figure 2. Occupation des sols dans le bassin versant de la Marza.

11 Les activités agricoles commencent au mois de février, en plein cœur de la saison sèche, par le labour au moyen de la charrue tirée par le tracteur ou de la houe pour la majorité des parcelles[1]. A partir de fin mars, le bétail quitte la plaine, et durant ce mois, les conflits entre les agriculteurs et les éleveurs ne sont pas rares, les espaces pâturables se réduisant devant les mises en culture. En mai, tous les champs ont été semés et les premiers sarclages commencent (on s'accorde à dire que la récolte sera bonne si l'on sarcle à deux reprises). La culture attelée n'est pas pratiquée pour les cultures de saison sèche, sans doute parce que les animaux sont trop faibles à cette époque de l'année. Par contre, ceux qui possèdent du bétail labourent leurs champs pour les cultures sous pluie. Puis à partir de juin commencent les récoltes et notamment celle du maïs précoce qui trouve preneur à bon prix, grillé en ville au bord des rues. Durant toute cette période faste, toutes les pistes de la plaine sont animées par le passage incessant des motos taxis surchargées de sacs de produits que l'on ramène en ville.

12 Comme nous l'avons vu plus haut, l'inondation commence en juillet et les parcelles non encore récoltées sont alors menacées par la montée rapide des eaux. La plaine est alors livrée à elle-même, agriculteurs et éleveurs l'ayant quittée. Seules subsistent les parcelles plantées en taro qui s'accommodent bien de l'eau. A partir du mois de novembre, les eaux rejoignent progressivement le lit de la Marza et les premiers troupeaux réapparaissent

dans la plaine. Certaines parties de la plaine, particulièrement basses par rapport à leur environnement proche (cuvettes de décantation par exemple) retiennent les eaux d'inondation. Les agriculteurs s'évertuent à les drainer en creusant des fossés de plusieurs décimètres de profondeur, travail pénible s'il en est dans les sols les plus lourds de la plaine. Avec la décrue réapparaissent les conflits de divagation puisque le bétail piétine les parcelles de taro encore non récoltées. A partir du mois de décembre, la plaine est toute entière livrée aux éleveurs.

13 Le bassin versant de la Marza occupé à la fois par des éleveurs et des néo-agriculteurs soucieux de rentabiliser leur investissement de départ, est par conséquent soumis à des influences antagonistes.

L'influence urbaine

14 La ville vient, comme dans beaucoup de périphéries des villes africaines, envahir la campagne par son habitat (la ville est ici aux portes du village Marza) et diminuer d'autant les surfaces accessibles au bétail. La forte présence des agriculteurs citadins se traduit par une appropriation générale de terres auparavant communes et uniquement consacrées à un élevage de saison sèche. La proximité d'une forte population urbaine à ravitailler en produits vivriers entraîne également la multiplication des exploitations maraîchères dans toute la vallée. En outre, l'augmentation continue de la population urbaine, si elle provoque des besoins toujours accrus en produits vivriers, exige également la fourniture de matériaux de construction, notamment les sables de la rivière. L'exploitation de ces matériaux amène à Marza des camions qui facilitent les échanges divers entre la ville et la vallée.

L'influence des activités pastorales

15 Cependant, les activités pastorales se poursuivent dans ce nouveau contexte en s'adaptant aux nouvelles contraintes. Celles-ci ne sont d'ailleurs pas toutes défavorables aux éleveurs. Car la proximité de la ville permet à ceux-ci d'écouler plus facilement leur bétail et leur lait, la demande étant proportionnelle à la clientèle urbaine. Elle permet également un accès plus aisé aux produits de première nécessité. Mais ce qui est surtout remarquable, c'est la tendance à la généralisation de la pratique du parcage du bétail, à des fins de fertilisation, sur les parcelles des agriculteurs qu'ils soient citadins ou non. Un contrat tacite lie alors l'éleveur et l'agriculteur pour une à deux semaines par parcelle.

L'appropriation de la plaine par les agriculteurs citadins

16 Comme nous l'avons mentionné plus haut, l'agriculture vivrière s'est développée sur des espaces jadis utilisés par l'élevage transhumant en saison sèche. A partir de 1986, l'appropriation de la plaine par les agriculteurs citadins a été source de nombreux conflits avec les éleveurs sédentaires des collines (*Ngaou* en langue vernaculaire) qui bordent la plaine, ces derniers ne voulant pas abandonner cette zone située à proximité de la ville, proximité qui ne présentait à leurs yeux que des avantages : Ngaoundéré est à la fois un centre de consommation de viande et de produits laitiers, et un lieu où les ruraux peuvent se ravitailler facilement. De plus, les éleveurs exploitaient les complémentarités des parcours entre les versants des mornes qui produisent les herbages de saison des

pluies et le fond humide de la vallée où le bétail se rassemble en saison sèche. Avec la croissance urbaine qui diminue les surfaces accessibles au bétail à l'amont du bassin versant, et l'irruption des citadins dans la plaine qui diminue la surface des pâturages de saison sèche, les éleveurs ont été contraints à des migrations plus lointaines vers l'est et l'ouest de la zone de Ngaoundéré, d'autant qu'ils n'avaient plus la protection d'entant de l'administration. Mais l'insécurité aux abords des frontières nationales (Saibou, 1998) les a conduits à ne pas trop s'éloigner de Ngaoundéré. Devant la situation créée par le développement de l'agriculture et les difficultés de la migration lointaine, la plupart d'entre eux ont accepté, de fait, une cohabitation avec les néo-agriculteurs en maintenant vaille que vaille le système d'exploitation traditionnel du milieu : présence du troupeau en saison sèche dans la plaine afin de brouter les éteules en lieu et place des herbages existant avant la mise en exploitation agricole, parcage nocturne du bétail en dehors de la plaine à proximité des habitations, éloignement du troupeau en saison des pluies. Les éleveurs continuent ainsi à affirmer leurs droits sur la plaine alors que les néo-agriculteurs leur opposent leurs titres d'achat de la terre. Ce système a fonctionné tant bien que mal pendant une dizaine d'années bien que les agriculteurs se plaignent du fait que « les bêtes broutent leur engrais et compactent leur champ par piétinement sans pour autant le fertiliser efficacement ».

Changement de comportement et de stratégies

17 Avec le temps et l'augmentation des difficultés à vivre en ville, le néo-agriculteur considère de plus en plus son activité agricole comme une ressource financière supplémentaire. Pour avoir des rendements meilleurs, gages de rentrées d'argent, il utilise les engrais chimiques. D'ailleurs, la production s'accroît rapidement. Mais dès 1993, des difficultés liées à la baisse de fertilité des sols apparaissent ; les témoignages concordants et les statistiques du chef de poste agricole attestent d'une diminution des rendements alors que le nombre de parcelles cultivées augmente. Avec la perte progressive de la fertilité des sols et les prix de plus en plus élevés des engrais chimiques, les agriculteurs recherchent d'autres moyens de fertiliser leurs parcelles et font appel aux éleveurs.

18 C'est ainsi que se développe désormais dans la plaine une sorte d'intégration agriculture-élevage autour du parcage nocturne du bétail, d'abord chez les agriculteurs-éleveurs, puis chez les agriculteurs citadins. Cette pratique qui intéresse une faible superficie de la zone cultivée[2], consiste à enfermer le bétail pour la nuit dans un enclos de piquets et de barbelés édifié sur la parcelle à fertiliser afin qu'il y dépose ses excréments. Cet enclos d'environ 400 m^2, qui peut aisément être démonté et contenir environ 70 têtes de bétail, permet la fertilisation systématique de toute la parcelle par son déplacement après stationnement des bêtes au même endroit pendant une à deux semaines. Les bovins rentrant du pâturage de bas-fond sont parqués dans l'enclos aux alentours de 17 heures. Ils y passent la nuit et une bonne partie de la matinée jusqu'à ce que les bouviers jugent bon de les conduire vers les herbages après la traite. Ce sont en général les bêtes qui signalent l'heure de départ en s'agitant de plus en plus dans l'enclos. Après une ou deux semaines de stationnement dans l'enclos, le sol, devenu complètement pulvérulent a pris une teinte noirâtre qui indique à l'agriculteur qu'il a acquis une fumure suffisante. La fertilisation du sol est assurée non seulement par les bouses mais aussi par les urines qui

imprègnent les horizons cultivés. Une parcelle bien fertilisée peut produire pendant trois ans avant de manifester des signes de perte de la fertilité.

19 Les rendements, au dire des agriculteurs, semblent singulièrement satisfaisants, mais leurs déclarations ne permettent pas, dans l'état actuel de nos enquêtes, de les chiffrer valablement.

20 D'autres agriculteurs ramassent les déchets urbains biodégradables pour fertiliser les champs. Ces déchets triés en ville par les agriculteurs citadins eux-mêmes à l'endroit où ils sont déposés (dépotoirs d'ordures), sont ensuite chargés dans les camions transporteurs de sable qui habituellement, retournent à vide dans la plaine de la Marza. Parfois, les camions municipaux de ramassage des ordures, après négociation avec l'agriculteur citadin, conduisent directement leur chargement dans la plaine où il est alors trié. Ce système, encore peu développé, ne peut être mis en œuvre que grâce à la résidence des agriculteurs à Ngaoundéré même et à la présence d'importants gisements de sable dans le lit de la Marza. S'il était généralisé, il pourrait contribuer pour beaucoup à l'assainissement de la voirie par élimination d'une bonne partie des dépôts d'ordure inorganisés.

21 Plus de 500 agriculteurs, dont l'écrasante majorité réside à Ngaoundéré, exploitent la plaine suivant les usages que nous venons de décrire. Une cohabitation s'est progressivement établie avec les éleveurs. Dans certains cas, la cohabitation s'accompagne de la mise en œuvre de contrats de fumure par lesquels le troupeau participe à la fertilisation des parcelles. Dans l'ouest du Niger, entre Tillabery et la frontière malienne, cette pratique est bien connue et remporte des succès avec des rendements considérables (Van Gyseghem, 1993). Ici, les troupeaux touaregs se rapprochent du Niger et se répartissent dans les villages de Sakoira, Diambala, Famélé et Ayorou (Bernus, 1994).

22 Mais ce système, dans la vallée de la Marza, souffre malgré tout d'un certain nombre de difficultés qui ne permettent pas une généralisation à toute la plaine. Certaines zones ne pourront jamais être mises en culture du fait de la présence permanente de l'eau. Ce sont les cuvettes de décantation aux sols hydromorphes lourds et peu aisément drainables. D'autres difficultés sont plutôt d'ordre sociologique. Elles résident dans la méfiance que se vouent mutuellement agriculteurs, qui de plus sont citadins, et éleveurs. Un bouvier confie à propos des contrats de fumure qu'il faut avoir une grande confiance en un agriculteur avant de lui confier son bétail pour une si longue période. Les craintes de voir le bétail disparaître de nuit, alors qu'il est parqué sur le champ à fumer non directement sous la garde de son propriétaire, sont couramment évoquées avec des allusions plus ou moins voilées à la complicité entre les voleurs de bétail et les néo-agriculteurs. Certains troupeaux placés à Marza appartiennent à des citadins que les bénéficiaires de la fumure désignent comme leurs amis. Enfin, souvent les contrats de fumure s'inscrivent aussi dans des affinités ethniques ou lignagères.

23 Mais la plus grosse difficulté réside dans la grande complexité du régime foncier des terres de la plaine entre la revendication des ayants droit qui affirment que la terre est la propriété de leurs ancêtres et l'État pour qui les préfets et les sous-préfets sont, depuis 1974, les porteurs officiels des droits sur la terre. Cette autorité de l'État sur les terres est d'ailleurs régulièrement contestée par le comportement des acteurs eux-mêmes lors de l'achat des parcelles. En effet, les acquéreurs d'une terre cultivable de la vallée (entre 3 000 et 4 000 francs CFA l'are) font viser le certificat de vente, non pas auprès des représentants de l'autorité publique à Ngaoundéré, mais auprès du *Djaoro* (*le* chef de

village) de Marza moyennant une somme d'argent variable suivant leur richesse supposée [3]. Le chef de village, dans ce cas précis, n'est pas considéré comme investi d'un pouvoir par l'autorité étatique, mais plutôt comme un chef coutumier. Chacun s'accommode au mieux de ses intérêts du flou réglementaire qui entoure ce type de transaction. Dans ces conditions, il est évident qu'une généralisation de l'agriculture péri-urbaine de Ngaoundéré, parfaitement illustrée par l'exemple de Marza, ne pourra être envisagée qu'après le réaménagement du système foncier.

Conclusion

24 Le paysage de la plaine de la Marza a connu plusieurs usages au cours du temps. Elle fut d'abord pastorale jusqu'en 1986, puis, sous l'effet d'une conjoncture économico-sociale défavorable, agricole de 1986 à 1994 puis agropastorale à partir de 1994. Ces différents bouleversements se sont accompagnés d'un changement de comportement et de stratégies des acteurs que sont les agriculteurs, en grande majorité citadins, et les éleveurs. Les premiers sont passés du stade de l'agriculture sans intrant chimique à celui avec intrants puis à celui de la fumure animale ou des déchets urbains. L'éleveur s'est alors trouvé de plus en plus associé avec l'agriculteur par des contrats de fumure.

25 En effet, devant la situation créée par le développement de l'agriculture lié à une chute du pouvoir d'achat des fonctionnaires citadins et les difficultés de la migration lointaine, la plupart des éleveurs, réticents au départ, sont devenus favorables, de fait, à une cohabitation avec les néo-agriculteurs. Par ailleurs, la perte progressive de la fertilité des sols et les prix de plus en plus élevés des engrais chimiques, les agriculteurs dans la recherche d'autres moyens de fertiliser leurs parcelles ont fait appel aux éleveurs. C'est ainsi que s'est développée dans la plaine une sorte d'intégration forcée agriculture-élevage articulée autour du parcage nocturne du bétail, d'abord chez les agriculteurs-éleveurs puis chez les agriculteurs.

26 Ainsi, de relations conflictuelles au départ, l'agriculture et l'élevage ont abouti à une intégration bénéfique aux deux parties. On peut dire que la plaine de la Marza a connu une « révolution » en matière d'agriculture et d'élevage. Mais des incertitudes demeurent quant à l'avenir de la vallée. Que deviendrait-elle si les salaires des fonctions publiques et para-publiques étaient revalorisés ? Assisterait-on à un abandon ou, au contraire, à une concentration de la propriété de la terre entre les mains de quelques gros exploitants ravitaillant la ville en produits vivriers ? Dans un cas comme dans l'autre, la question du devenir d'un élevage péri-urbain reste posée entre le retour de la plaine à un système purement pastoral, le maintien du statut-quo et la disparition pure et simple des pâturages de saison sèche face à une agriculture spéculative et à une croissance urbaine exponentielle.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bernus E., 1994 – « Le berger touareg et le paysan ». *In* Blancs-Pamard C, Boutrais J. (éd.) : *Dynamique des systèmes agraires : à la croisée des parcours pasteurs, éleveurs, cultivateurs,* Paris, Orstom, coll. Colloques et séminaires : 291-301.

Boutrais J., 1978 – « Deux études sur l'élevage en zone tropicale humide (Cameroun) ». *In : TD Orstom,* Cameroun, 1 :11-32.

Lasserre M., 1957 – *Étude géologique de la partie orientale de l'Adamaoua (Cameroun central).* Thèse doct., univ. Clermont-Ferrand, 129 p.

Letouzey R., 1969 – *Étude phytogéographique du Cameroun.* Paris, Paul le Chevalier, 511 p.

Saibou I., 1998 – « Lamiido et sécurité dans le Nord-Cameroun ». *In : Annales de la FALSH,* univ. Ngaoundéré, Cameroun, vol. 3 : 63-76.

Tchotsoua M., 1999 – *L'homme et la dynamique des paysages sur la dorsale de l'Adamaoua.* Paris, Flamboyant, juin 1999, 50 : 12-23.

Tchotsoua M., Bonvalllot J., 1997 – « Phénomène d'érosion et gestion urbaine à Yaoundé (Cameroun) ». *In* Singaravelou J. (éd.) : *Gestion de l'environnement en milieux tropicaux,* Espace tropicaux. Dymset-Cret, Talence, 15 : 517-528.

Tchotsoua M., Bonvallot J., 1994 – Crise socio-économique et érosion accélérée à Yaoundé : une contribution à la gestion de l'environnement urbain en milieu tropical humide. *Bull. Réseau érosion,* IRD, Paris, 15 :114-131.

Tchotsoua M., Mapongmetsem P. M., Tago M., 2000 – « Urbanisation, crise économique et dynamique de l'environnement en milieu soudanien d'altitude : le cas du plateau de Ngaoundéré au Cameroun ». *In* Fouodoup K., Courade G. (éd.) : *Sociétés et environnement au Cameroun,* Revue de géographie du Cameroun, Yaoundé, numéro spécial : 117-127.

Temdjin R., 1986 – *Le volcanisme de la région de Ngaoundéré (Adamaoua, Cameroun). Étude volcanique et pétrologique.* Thèse doct., Géologie, univ. Clermont-Ferrand, 258 p.

Van Gyseghem S., 1993 – La ceinture maraîchère de Tahoua (Niger) : rôle des ONG dans les cultures de saison sèche. *Villes africaines, Espaces tropicaux,* CEGET-CNRS, Talence, 10 :149-171.

Yonkeu S., 1993 – *Végétation des pâturages de l'Adamaoua.* Thèse doct., univ. Rennes I, 206 p.

NOTES

1. Deux tracteurs sont utilisés : l'un appartient à un des plus importants exploitants de la vallée, l'autre à la Délégation provinciale à l'agriculture qui le loue aux agriculteurs.
2. Sur les 22 éleveurs foulbés recensés, 15 déclarent avoir pratiqué le parcage au bénéfice d'agriculteurs citadins, ce qui représente au maximum l'utilisation de 850 à 900 têtes de bétail. De nombreux agriculteurs déclarent avoir désiré accueillir sur leur parcelle le troupeau d'un éleveur mais ne pas avoir pu le faire faute de bétail disponible ou d'accord avec un éleveur.
3. En fait, il n'y a pas véritablement d'enregistrement de la transaction par le chef du village. Celui-ci ne fait qu'apposer sa signature au bas du certificat de vente rédigé à la main par les deux parties. Le paiement de cette signature se fait en nature (sucre, thé) et en espèces (en général 5 000 francs CFA).

AUTEURS

MICHEL TCHOTSOUA

Géographe. Université de Ngaoundéré, dép. Géographie, BP 553, Ngaoundéré, Cameroun, tchotsoua@yahoo.fr

JEAN BOUTRAIS

Géographe. IRD, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France, boutrais@ehess.fr

JACQUES BONVALLOT

Géographe. IRD, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France, bonvallo@bondy.ird.fr

Savoir-faire paysan et exploitation piscicole de mares temporaires en zone sahélienne

Cas du village de Tafouka (Niger)

Mathieu Doray, Olivier Mikolasek, Amadou Boureïma et Marc Oswald

1 En 1998, des enquêtes réalisées pour une étude sur le développement de la pisciculture au Niger (Oswald et *al.*, 1998) ont mis en évidence l'existence de pratiques d'élevage de poissons dans le village de Tafouka. En dépit du climat sahélien qui règne dans la zone, les paysans locaux ont développé un mode d'exploitation original : des mares temporaires situées sur leur terroir permettant la production annuelle de plusieurs dizaines de tonnes de poissons-chats africains (*Clarias gariepinus*).

2 Le présent article fait suite à un travail réalisé à Tafouka en 1999 (Doray, 1999) et présente le savoir-faire développé par ces paysans. Dans cette région souvent décrite comme réfractaire à l'innovation (Chauveau, 1999 a), la mise en place récente d'un système d'élevage de poissons en Afrique sahélienne conduit sans aucune aide et à l'insu des services de l'État nigérien ou de tout autre organisme, est un bel exemple de développement local. Nous replacerons ensuite cette analyse dans le cadre de travaux plus conceptuels sur la construction de l'innovation en zone sahélienne.

Milieu, matériel, méthode

Présentation du village de Tafouka et de son terroir

3 Le village de Tafouka, dont le nom signifie « les mares » en langue haoussa, est situé au Niger à 40 km de la ville de Birni N'Konni et à 7 km de la frontière avec le Nigeria. Sa population est estimée à 2 588 habitants. Les villageois pratiquent traditionnellement la culture pluviale de mil et le commerce transfrontalier, mais leurs activités se sont diversifiées depuis les sécheresses des années 1980 et l'intensification des contrôles douaniers le long de la frontière. Par ailleurs, le système agraire local traverse une grave

crise foncière ; les surfaces cultivables disponibles morcelées lors des successions ne suffisent plus pour subvenir aux besoins des familles des exploitants. La recherche d'activités annexes est ainsi devenue une obligation pour obtenir les devises nécessaires à la subsistance dans une société qui paraît de plus en plus monétarisée et inégalitaire.

4 Les villageois de Tafouka disposent sur leur terroir de mares décrites comme temporaires à l'échelle d'une ou de plusieurs années ; 15 d'entre-elles se maintiennent en eau pendant 7 mois en moyenne et 1 seule sur une plus longue durée, comprise en moyenne entre 10 et 12 mois. Alimentées uniquement par les eaux de pluies, ces mares constituent un réseau hydrographique indépendant qui couvre une superficie de l'ordre de 400 ha en fin de remplissage. L'un des principaux axes routiers du Niger (entre Dosso et Birni N'Konni) traverse sur quelques kilomètres cette succession de mares.

5 La seule espèce piscicole présente de façon permanente dans ces mares est le protoptère, *Protopterus anectans.* Le poisson-chat, *Clarias gariepinus,* abonde néanmoins dans les plans d'eau permanents situés hors du terroir de Tafouka ; on le rencontre notamment au Nigeria.

Description du système d'élevage piscicole

6 Dans l'optique d'une description dynamique du système d'élevage piscicole, notre objectif premier a été de comprendre les stratégies mises en œuvre par les acteurs concernés : « le chercheur comprend parce qu'il saisit la motivation » (Weber, 1971, *in* Yung et Bosc, 1999). Ces stratégies composites n'ont pu être appréhendées que par le biais de l'analyse historique de la mise en place du système. Nous avons ainsi été amenés à étudier cette innovation locale comme une « entrée » permettant l'étude des dynamiques des systèmes agraires (Chauveau, 1999 a). La description a porté tant sur 1'« invention technique » (Schumpeter, 1935) que sur la « construction sociale » de l'innovation pour tenter d'évaluer l'impact de celle-ci sur le système actuel.

Déroulement des enquêtes

7 Les données ont été récoltées lors d'un travail de terrain d'une durée totale de 45 jours au cours de 4 séjours dans le village de Tafouka. Les enquêtes ont été menées sur un mode semi-directif, en se basant sur des questionnaires évolutifs, dans un souci de description « constructiviste » de l'innovation (Chauveau, 1999 a). Les questionnaires étaient élaborés autour de plusieurs thèmes, abordés chronologiquement dans cet ordre : historique de l'exploitation piscicole, description du système d'élevage piscicole actuel, analyse des systèmes agricoles de production et étude de la diffusion de l'innovation dans les villages voisins.

8 Plusieurs entretiens collectifs préalables avec les notables et les représentants des groupes de pêcheurs, de femmes, de jeunes, etc. ont permis d'identifier les occupations secondaires des villageois, les cultures pluviales constituant l'activité principale de tous. Par ailleurs, les informations recueillies auprès des groupes de pêcheurs ont permis de distinguer les trois catégories suivantes parmi les villageois exerçant l'activité piscicole : pisciculteur et pêcheur (repris dans la suite du texte sous le terme unique de pisciculteur), pêcheur, apprenti[1]. Seuls les 5 pisciculteurs ont systématiquement fait l'objet de plusieurs entretiens individuels. Les autres villageois ont été sélectionnés au fur et à mesure du déroulement de l'enquête en fonction de leur degré d'implication dans

l'exploitation piscicole, de la représentativité de leur activité ou de leur place dans la hiérarchie socio-économique du village. Leur position vis-à-vis de l'exploitation piscicole des mares ainsi que leurs choix stratégiques d'activités ont été discutés.

9 Enfin, quelques villageois ont été interrogés en raison de leur propension à fournir des informations en contradiction avec certaines réponses « convenues » recueillies auprès des groupes de pêcheurs. Ces enquêtes ont été couplées à des observations de terrain concernant le réseau hydrographique et les pratiques piscicoles dans les villages avoisinants, où les techniques de Tafouka avaient été diffusées.

Méthodes d'analyse

10 D'une façon générale, les informations collectées ont été pré-analysées lors des enquêtes pour faire évoluer les questionnaires en confrontant systématiquement les témoignages, mais aussi en vérifiant la cohérence des données quantitatives fournies grâce à des observations directes ou des données bibliographiques. La superficie des mares a été évaluée à partir d'une interprétation de photographies aériennes (série 75 NIG 40 n° 4775-4756-4757, IGNN-1975) prises au cours de la saison des pluies et grâce à des vérifications de terrain. La quantité moyenne de géniteurs introduits par unité de surface a été estimée sur la base du stock déclaré par les pisciculteurs, puis a été validée lors du suivi de deux empoissonnements. Le poids moyen des géniteurs a été calculé par comptage et pesée des poissons. L'estimation de la production annuelle de poissons a été réalisée à partir des données de captures journalières par période de pêche, par type et par nombre d'engins obtenus auprès des pêcheurs enquêtes. Ensuite ces captures ont été extrapolées à l'ensemble des pêcheurs à partir de l'inventaire exhaustif des pêcheurs et de leur engins. Le revenu monétaire moyen des pisciculteurs a été établi à partir des performances économiques (comptes de résultat 1998/99) de chacun d'entre eux. Les différentes charges, en particulier les dépenses dites « sociales » (baptêmes, mariages, dons...), ont été appréciées au regard des analyses économiques conduites auprès des 15 autres villageois. Les valeurs des rendements agricoles et des denrées échangées ont été systématiquement précisées auprès de chaque interlocuteur afin d'établir un référentiel commun pour les calculs économiques.

Résultats

Mise en place du système d'élevage piscicole

Premiers empoissonnements

11 Le premier empoissonnement des mares de Tafouka semble remonter au début des années 1960. Il a été le fait d'un paysan ayant émigré d'un village voisin, qui initia l'exploitation halieutique des mares en y introduisant des *Clarias* ramenés du Nigeria. L'intérêt des villageois pour cette initiative a tout d'abord été faible bien que ceux-ci aient soutenu ce premier pêcheur en imposant une taxe aux pêcheurs extérieurs au terroir de Tafouka, professionnels attirés par la nouvelle ressource créée. A partir de la promulgation de la loi 71-17 fixant le Régime de la pêche (en 1971), les agents des Eaux et Forêts interdisent aux villageois de percevoir la « taxe de pêche » et s'approprient cette prérogative. Le nombre de pêcheurs professionnels fréquentant les mares augmente alors rapidement, atteignant une vingtaine vers 1975.

Exploitation de la ressource par des pêcheurs professionnels étrangers au village

12 La vingtaine de pêcheurs professionnels migrants, pour la plupart en provenance du Nigeria, sont accueillis favorablement par le chef du village de Tafouka, issu lui-même de la branche familiale nigériane, et exploitent les mares pendant environ huit ans. Hébergés chez les villageois, ils leur enseignent divers modes de capture des poissons : en particulier la confection et la pose de palangres et surtout la récolte de poissons aux moyens de trous. Introduite vers 1979, cette dernière technique consiste à creuser des trous de dimensions variables (diamètre variant de 2 à 6 m pour des profondeurs allant de 0,50 à 2 m) dans l'assiette des mares, pour y pêcher le poisson lors du tarissement. Le poisson récolté appartient au propriétaire du trou. Cette technique substitue un investissement en travail, l'excavation et l'entretien des trous, à un investissement monétaire, l'achat de palangres. Les pêcheurs professionnels vendent leurs prises à des mareyeurs qui se rendent et s'installent provisoirement sur le bord des mares à proximité de la route bitumée de Dosso vers Birni N'Konni. Les pêcheurs locaux pratiquent essentiellement une activité de subsistance.

13 Au début des années 1980, des assèchements répétés des mares entraînent une diminution de la taille et de la quantité de poissons pêchés. Par ailleurs, un nouveau chef est élu à Tafouka beaucoup moins conciliant vis-à-vis des pêcheurs extérieurs au terroir. Suite à ces évènements, une grande partie des pêcheurs professionnels semble déserter les mares du village à partir de 1983.

Naissance du système piscicole et affirmation d'une pêcherie locale

14 Entre 1983 et 1984, les pêcheurs locaux de première génération se retirent et cèdent leur matériel à leurs enfants, qui ont pêché, sous leur autorité, pendant une dizaine d'années. Du fait des assèchements successifs des mares, deux de ces jeunes pêcheurs décident en 1986 de stocker des *Clarias* (futurs géniteurs) dans une fosse creusée dans une mare pendant la saison sèche. Ils doivent surveiller leur fosse pendant 40 jours et 40 nuits pour éviter le braconnage des autres villageois et décident donc, en 1987, de construire 2 bassins de stockage de géniteurs de *Clarias* au sein même de leur concession. Ils associent la quinzaine de pêcheurs locaux à cette entreprise, créant deux groupes chargés chacun de l'entretien d'un bassin. Les deux premiers pisciculteurs prennent alors en charge les empoissonnements en début de saison des pluies, lorsque tous les autres villageois sont occupés par les travaux dans les champs de mil. Ils s'approprient ainsi les géniteurs et une part importante de la ressource exploitable en empoissonnant les mares où ils possèdent le plus de trous.

15 L'exploitation locale de la ressource piscicole se développe réellement à cette période de post-sécheresse, car les paysans recherchent alors de nouvelles activités secondaires pour pallier la baisse des rendements en mil. A partir de la construction des bassins de stockage, la ressource en poisson est durablement pérennisée, et les débouchés commerciaux sont assurés par la présence de nombreux mareyeurs et la proximité du marché nigérian. Le nombre de pêcheurs au sein des deux groupes augmente rapidement et ils embauchent de nombreux apprentis pour les seconder dans la pêche aux trous, très demandeuse en main d'œuvre. Ces apprentis sont invariablement des membres plus jeunes de la famille proche du pêcheur (descendants directs, frères, neveux ou cousins), ils aident un ou plusieurs pêcheurs et sont rémunérés en retour. La gestion de l'accès aux

mares est alors confiée par le chef du village aux groupes des pêcheurs dirigés par les deux pisciculteurs, qui évincent la quasi-totalité des pêcheurs professionnels extérieurs au terroir.

Multiplication des bassins de stockage et essor de la pêcherie

16 A partir de 1993, trois autres pêcheurs parmi les plus anciens creusent à quelques années d'intervalle des bassins de stockage dans leurs concessions. Mais ces nouveaux pisciculteurs le font cette fois à titre privé, ralliant autour de leur bassin les pêcheurs de leur famille proche. Ils procèdent ainsi à des empoissonnements individuels dans les mares où ils possèdent le plus de trous et dans celles où ils désirent en creuser, l'empoissonnement d'une mare autorisant alors l'exploitation de celle-ci.

17 Le nombre de pêcheurs augmente encore lorsque les apprentis se libèrent de l'autorité de leur patron, au bout d'une dizaine d'années, quand ils ont accumulé suffisamment de palangres. Les trous se multiplient anarchiquement dans toutes les mares, de nouveaux plans d'eau sont découverts et empoissonnés de plus en plus loin de Tafouka et bientôt sur le terroir des villages voisins. Mais l'expansion est stoppée par la nécessité de négocier l'accès à ces plans d'eau avec des villageois qui comprennent vite le profit qu'ils peuvent tirer de l'exploitation de leurs mares. Ainsi le chef des pêcheurs du village voisin d'Illou, qui a construit son propre bassin de stockage avec les conseils des pêcheurs de Tafouka, interdit aujourd'hui à ces derniers d'installer des palangres dans la mare dont il est le propriétaire reconnu. Les pêcheurs de Tafouka partent également à partir de 1989 en migration de pêche autour des plans d'eau permanents de la région, pendant la saison sèche.

Un difficile partage de la ressource

18 En 1999, on dénombrait 5 pisciculteurs, environ 40 pêcheurs et 70 apprentis, tous villageois de Tafouka. Les pisciculteurs étaient jusqu'à présent à la tête de leur groupe familial, secondés à l'origine par les pêcheurs et leurs apprentis pour l'entretien des bassins et les opérations de pêche. L'autorité des pisciculteurs semble remise en question et l'entraide de moins en moins fréquente. Celle-ci cède la place à un simple échange marchand : force de travail contre rémunération. De nombreux pêcheurs dégagent ainsi une part non négligeable de leur revenu en travaillant dans les trous des pisciculteurs ou ceux d'autres pêcheurs. Des conflits naissent autour des « règles d'appropriation » de la ressource concernant d'une part, la répartition du stock de géniteurs de *Clarias* entre chaque pisciculteur et d'autre part, le partage des poissons récoltables entre pisciculteurs, pêcheurs et même apprentis. Devant le nombre grandissant de villageois attirés par la pêche, les pisciculteurs multiplient les règles pour tenter de limiter l'accès du plus grand nombre à la ressource.

Le système d'élevage piscicole sous sa forme actuelle

Pêche des géniteurs et stockage

19 Les géniteurs de *Clarias gariepinus* sont pêchés dans l'unique mare semi-permanente du terroir de Tafouka. Les poissons sont acheminés au village le plus rapidement possible dans des calebasses (environ 40 minutes). Aucune mortalité n'a été constatée pendant les transports. Cette récolte de stockage est effectuée, en théorie, par les pisciculteurs réunis

afin d'assurer un partage égal des géniteurs. Mais en pratique, cette règle est rarement respectée.

20 Les géniteurs de *Clarias* sont stockés dans des bassins d'environ 1,6 m de profondeur, creusées à même le sol et crépies en ciment. Les bassins sont fermés par un couvercle amovible pour limiter l'évaporation. Ils contiennent entre 50 et 70 cm d'eau. Les pisciculteurs ont stocké en moyenne en 1998/99, 3 000 géniteurs de 20 g par bassin, soit 60 kg de poissons dans environ 1,4 m^3 d'eau. La durée de stockage peut varier entre 2 et 3 mois, selon la précocité de la saison des pluies. Les *Clarias* sont nourris 1 à 3 fois par jour, essentiellement au moyen de son de mil cuit. Les pisciculteurs affirment ne pas observer de mortalités dans les bassins lors du stockage.

Empoissonnements

21 Les empoissonnements s'effectuent en début de saison des pluies. Les pisciculteurs suivent leurs stratégies individuelles d'empoissonnement, veillant à n'introduire de géniteurs que dans les mares « sources » qui vont se déverser dans d'autres plans d'eau au moment de la crue. Les mares ont été empoissonnées en 1998/99 avec une moyenne de 33 géniteurs par hectare de mare en eau en saison des pluies. Dès les premières pluies (juin-juillet) jusqu'à la récolte du mil fin septembre, tous les pêcheurs sont accaparés par les travaux des champs, seuls les pisciculteurs et leurs apprentis sacrifient une semaine en moyenne pour effectuer les empoissonnements. Durant cette période, l'activité de pêche est très réduite, les *Clarias* se reproduisent et grandissent. Cependant, à chaque forte pluie, les villageois traquent les *Clarias* qui se déplacent pour frayer dès les premiers mouvements d'eaux.

La saison de pêche

22 La saison de pêche débute officiellement en octobre. Seuls les pêcheurs reconnus comme tels (pisciculteurs, pêcheurs et apprentis) exploitent les mares à cette période. Les autres villageois ne participent qu'en louant occasionnellement leurs services lors des récoltes massives de poissons dans les trous. Les pêcheurs de Tafouka opèrent successivement à la palangre puis aux trous dans toutes les mares du terroir, en fonction de leur ordre d'assèchement. Selon les estimations de captures réalisées d'après enquêtes, la productivité piscicole des mares oscillerait ainsi entre 60 et 200 kg ha^{-1} an^{-1} en fonction de l'abondance des pluies. L'essentiel de la production piscicole (90 %) est commercialisé, le reste est auto-consommé ou fait l'objet de dons. En 1998/99, le revenu net moyen tiré de l'exploitation des mares de chacun des cinq pisciculteurs, également principaux pêcheurs, s'élève à 720 163 F CFA, soit un produit brut de 2 093 925 F CFA.

Discussion

Biais inhérents aux enquêtes

23 De façon générale, les biais surviennent au niveau des réponses fournies, parfois convenues, pour préserver ses intérêts ou celui du groupe, et de leur interprétation du fait que les réponses sont effectuées selon les normes d'un référentiel culturel très différent.

24 Néanmoins, à titre d'exemple, les estimations de production de la campagne 1998/99 ne diffèrent que de 7 % des quantités enregistrées au cours de la campagne 1999/2000[2]. Par ailleurs, la sous représentation de l'échantillon des villageois non impliqués dans l'activité piscicole n'a sans doute pas permis de bien cerner toutes les relations existantes entre les paysans exploitant les mares et le reste du village. Ainsi, nous n'avons pas pu recueillir le témoignage explicite de villageois non pêcheurs s'étant vus refuser l'accès à l'activité halieutique. Cependant les liens familiaux très étroits entre tous les pêcheurs semblent plaider pour une appropriation familiale de l'activité.

Construction de l'innovation piscicole

25 L'analyse de la construction de l'innovation piscicole et de sa dimension sociale est faite en se référant à la définition de l'innovation proposée par Olivier de Sardan (1998) : « greffe inédite entre deux ensembles flous dans une arène, *via* des passeurs ».

Arène et sociétés paysannes

26 A Tafouka, l'« arène » dans laquelle s'est développée l'innovation piscicole est le village, inséré dans la « société paysanne » haoussa de la frontière nigériane. Le modèle sociologique décrit par Chauveau (1999b) nous a semblé fournir les traits généraux de ce type social. La société rurale locale est en effet culturellement homogène (majoritairement haoussa) mais présente de grandes disparités socio-économiques dues aux conditions climatiques très rudes qui entraînent une différenciation interne entre les exploitations (inégalité de statut et de situation) et des relations de dépendance avec les régions économiquement plus favorisées (exode rural et migrations de travail saisonnières). Les différentes stratégies adoptées par les paysans ne sont pas d'une nature particulière vis-à-vis des opportunités économiques et dépendent de leur position dans le système local de stratification et du degré d'ouverture des différentes communautés paysannes. L'homogénéité traditionnelle, défavorable au développement de l'innovation, est ainsi remise en question par le renforcement d'inégalités socio-économiques entraînant l'ouverture et la transformation de la société rurale locale.

Greffe inédite, via des passeurs

27 Dans le cas du système piscicole de Tafouka, un des traits caractéristiques de l'innovation est la durée nécessaire à sa construction. Depuis le début des années 60, l'innovation a cheminé, pour reprendre le terme de Chauveau (1999a), engendrant une suite d'équilibres dynamiques, la situation actuelle étant elle-même loin d'être figée. Ce n'est donc pas une mais plusieurs « greffes » qui se sont succédées (tableau 1).

Tableau 1. Greffes successives à l'origine de l'évolution de l'innovation.

Date	Ensemble flou « donneur »	Invention	Passeur	Ensemble flou « receveur »
1960	villageois exploitant la ressource piscicole	empoissonnement en Clarias	villageois émigrés	villageois de Tafouka
1965-1983	pêcheurs professionnels migrants	techniques de pêche (palangres, trous)	professionnels pêchant à Tafouka	villageois de Tafouka accueillant les professionnels
1987	pêcheurs locaux à temps plein	bassins de stockage	inventeurs des bassins	pêcheurs locaux à temps partiel

28 Les passeurs appartiennent à des catégories sociales décrites comme favorables à l'adoption de l'innovation : « classe rurale moyenne inférieure »[3] et « gros producteurs »[4], mais semblent développer des stratégies différentes : « stratégie défensive » (Yung et Bosc, 1999) pour l'émigré pauvre qui vise la subsistance, stratégie plus offensive pour les inventeurs des bassins qui pêchent pour accroître leur revenu. La décomposition des diverses « greffes » permet de mettre en évidence le caractère discontinu et non-linéaire de la construction de l'innovation à Tafouka. L'introduction par les pêcheurs migrants, étrangers de la technique de la pêche aux trous, a permis de démocratiser rapidement la pratique de la pêche dans la communauté villageoise de Tafouka très faiblement monétarisée. Elle a permis de plus une appropriation foncière d'une portion de la mare et de l'eau, et a offert l'assurance de disposer d'une portion de la ressource.

29 Cependant, la greffe décisive de l'invention la plus spectaculaire (les bassins de stockage dans le village) correspond en fait à un seuil d'irréversibilité (Chauveau, 1999 a). On assiste à une étape déterminante dans la construction de l'innovation qui entraîne une véritable « dynamique de changement des structures de production » (Yung et Bosc, 1999) accompagné d'un « changement social » (Olivier de Sardan, 1998). Cette greffe décisive a été favorisée par une situation de crise (la sécheresse) créant « des conditions nouvelles pour l'action » (Marty, 1985 *in* Yung et Bosc, 1999) mais aussi par l'acceptation sociale du braconnage en brousse par la communauté villageoise qui a obligé les entrepreneurs à implanter leurs bassins dans leurs concessions. La nécessaire invention de ces bassins de stockage trouve ainsi son origine non seulement dans la situation climatique, mais également dans la situation sociale. Enfin, à Tafouka, l'organisation sociale née de l'adoption de l'« invention technique » recrée singulièrement l'organisation sociale traditionnelle des agriculteurs haoussa, en l'adaptant à l'exploitation d'une nouvelle ressource : existence de groupes familiaux pour l'organisation du travail et pour la redistribution des richesses, apprentissage et transmission héréditaire du capital, gestion communautaire et entraide. L'innovation piscicole a donc permis de « reproduire la structure sociale en place et le système d'inégalités traditionnel » (Olivier de Sardan, 1998), même si la structure en place est actuellement sérieusement remise en cause.

Innovation en matière de gestion : confrontation de stratégies complexes

Une ressource piscicole commune ?

30 Les rapports complexes entre droits et obligations vis-à-vis de la ressource piscicole des différents groupes sociaux identifiés à Tafouka peuvent être décomposés pour faciliter l'analyse suivant les ensembles de droits de propriété définis par Schlager et Ostrom (1992 *in* Sandberg, 1993) dans le grand Nord Scandinave (tableau 2). Les villageois ont en principe le droit de prélèvement sur les ressources des mares, mais ne l'exercent pas s'ils ne sont pas reconnus comme pêcheurs. On peut expliquer cet état de fait par les deux ensembles suivants de facteurs de régulation :

- *familiaux ou sociaux* : non ingérence vis-à-vis du groupe des pêcheurs, dons réguliers par ces derniers de poissons aux autres villageois ;
- *stratégico-économique* : la pression de pêche dans les mares est si élevée qu'un villageois sans matériel ni savoir-faire ne rentabiliserait pas un investissement temporel dans la pêche.

31 Les mares de Tafouka étant situées en brousse, c'est-à-dire sur la partie non appropriée (au sens de non aliénée) du terroir du village (Sidikou, 1997), les droits des usagers de ces plans d'eau (pêcheurs et pisciculteurs) se limitent à l'accès, le prélèvement, la gestion et l'exclusion. Ce dernier droit appartenait à l'origine au chef du village qui l'a délégué dans les faits à l'association des pêcheurs. Les pêcheurs étrangers ont ainsi été exclus à l'unanimité par les pêcheurs locaux mais ce mode de gestion communautaire pose actuellement des problèmes très sérieux au niveau du partage de la ressource entre pêcheurs locaux. Seule l'obtention d'un droit d'aliénation d'une portion des mares permettrait aux pisciculteurs de bénéficier d'un retour correct sur l'investissement qu'ils réalisent en empoissonnant les mares.

Tableau 2. Droits de propriété et ressource piscicole à Tafouka.

Droits	Propriétaire en droit	Propriétaire en fait	Ayant droit	Utilisateur autorisé	Utilisateur non autorisé
Accès	✓	✓	✓	✓	✓
Prélèvement	✓	✓	✓	✓	
Gestion	✓	✓	✓		
Exclusion	✓	✓			
Aliénation	✓				
Dépositaire à Tafouka	chef du village	pêcheurs locaux (pisciculteurs)	pêcheurs locaux	villageois de Tafouka	étrangers (pêcheurs)

Un système piscicole en pleine mutation sociale

32 Le concept de « groupe professionnel local » (GPL) défini par Darré (1999) nous a semblé bien décrire le groupe de pisciculteurs et de pêcheurs de Tafouka, du moins jusqu'à une période récente. A Tafouka, le « mouvement de la norme » du GPL est illustré par le foisonnement des règles de gestion concernant les techniques de pêche autorisées et la réglementation de la saison de pêche. Ces règles tendaient jusqu'à présent à maintenir les

inégalités établies et la domination des pisciculteurs. Mais, avec l'augmentation très rapide du nombre de pêcheurs, les règles sont transgressées, renégociées et modifiées en permanence, faute d'une autorité capable de les faire appliquer sans discussion. On assiste ainsi à l'affrontement permanent de diverses stratégies complexes, associant des comportements offensifs et défensifs, entravant une quelconque gestion de l'effort de pêche. Actuellement, les pisciculteurs et les pêcheurs les plus anciens adoptent une attitude globalement défensive, essayant de tirer le meilleur parti de leur capital, tandis que les jeunes pêcheurs (dont les apprentis) appliquent une stratégie offensive en creusant le plus de trous possibles dans les mares où il reste de l'espace. Ces deux stratégies opposées contribuent à expliquer les tensions au sein du groupe et les nombreuses variantes de la norme du GPL. La transgression de plus en plus systématique des règles par les jeunes pourrait entraîner la scission de l'actuel GPL en deux nouveaux GPL, dont l'un serait justifié par la professionnalisation d'une partie des pêcheurs locaux qui migrerait vers des plans d'eau extérieurs au terroir de Tafouka pour pêcher toute l'année. Finalement, l'innovation sociale (ou institutionnelle) semble avoir pris le pas sur l'innovation strictement technique, freinée par les confrontations de stratégies opposées. Cette maturation sociale centrée autour des questions de propriété de la ressource semble être un préalable nécessaire à toute nouvelle amélioration technique du système piscicole.

Conclusion

33 L'étude du système piscicole mis en place à Tafouka confirme l'existence d'un véritable savoir-faire paysan en matière d'exploitation piscicole des mares temporaires sahéliennes (Mikolasek *et al.*, sous-presse b). Ainsi, les paysans de Tafouka ont su créer une nouvelle ressource qui, au-delà de l'approvisionnement en protéines animales des marchés voisins, contribue avec une grande efficacité à générer des revenus monétaires importants en milieu rural. Cependant, le maintien durable d'un système piscicole comme celui du Tafouka suppose nécessairement l'acceptation de règles communes pour gérer et partager une ressource piscicole limitée mais renouvelable grâce l'initiative individuelle de quelques villageois. Plus largement, ceci soulève la question centrale de l'appropriation d'une ressource par un groupe reconnu : justifications et modalités. En effet, la non appropriation des poissons par les pisciculteurs au cours de l'ensemble du cycle d'élevage rend difficile l'introduction de nouvelles techniques de pisciculture en vue d'améliorer la production existante. Dans tous les cas, cette appropriation ne peut être réalisée que dans un cadre négocié entre les différentes composantes de la société civile (Mikolasek *et al.*, sous-presse a) : villages, collectivités territoriales et État. Cette démarche d'appropriation et de gestion de la ressource piscicole appliquée aux plans d'eaux temporaires pourrait en partie s'appuyer sur les expériences acquises dans le secteur de la pêche dans le delta intérieur du fleuve Niger (Poncet, sous-presse) ou dans celui du bois de chauffe provenant des formations forestières sahéliennes (Mahamane et Montagne, 1997).

34 Sur un plan plus conceptuel, l'originalité de l'exemple de Tafouka tient à l'étude de l'émergence et de la maturation spontanées d'une innovation dont on ne peut dissocier les dimensions techniques et sociales. L'innovation apparaît ici comme un processus inachevé, inscrit dans la durée et doté de multiples facettes, capable également de se diffuser en s'adaptant à des contextes nouveaux. Aussi, les études portant sur les

innovations locales en zone sahélienne autour de la ressource en poissons méritent d'être poursuivies, en considérant l'innovation comme une « variable à expliquer plutôt qu'explicative ». On pourrait ainsi envisager à terme, l'émergence d'une nouvelle forme de développement visant à stimuler l'émergence, la construction et la diffusion d'innovations locales, grâce à la constitution d'un tissu socio-économique favorable.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Cancian F., 1989 – « Economic behavior in peasant communities ». *In* Plattner S. (éd.) : *Economic anthropology,* Stanford, Standford University Press.

Chauveau J. P., 1999 a – « L'étude des dynamiques agraires et la problématique de l'innovation : introduction ». *In* Chauveau J. P., Cormier-Salem M. C, Mollard E. (éd) : *L'innovation en agriculture, questions de méthodes et terrains d'observation,* Paris, IRD, coll. A travers champs : 10-31.

Chauveau J. P., 1999 b – « Le modèle sociologique des sociétés paysannes ». *In* Chauveau J. P., Cormier-Salem M. C, Mollard E. (éd) : *L'innovation en agriculture, questions de méthodes et terrains d'observation,* Paris, IRD, coll. A travers champs : 86-91.

Darré J. P., 1999 – « La production de connaissance dans les groupes locaux d'agriculteurs ». *In* Chauveau J. P., Cormier-Salem M. C, Mollard E. (éd) : *L'innovation en agriculture, questions de méthodes et terrains d'observation,* Paris, IRD, coll. A travers champs : 94-112.

Doray M., 1999 – Étude systémique d'une initiative de développement local spontané : l'exploitation des ressources halieutiques du terroir de Tafouka (Niger). Mémoire de DAA Halieutique, Ensa Rennes, Cirad-EMVT, APDRA-F et FLSH Niamey, 68 p.

Dubois J. P., 1971 – *L'émigration des Sereres vers la zone arachidière orientale. Contribution à l'étude de la colonisation des terres neuves du Sénégal.* Paris, Orstom.

Mahamane L., Montagne P., 1997 – « Les grands axes stratégiques du Projet Énergie II – Volet offre pour une gestion rationnelle des écosystèmes forestiers péri-urbains au Niger ». *In* d'Herbes J. M., Ambouta J. M. K., Peltier R. (éd.), Paris, John Libbey Eurotext : 155-167.

Marty A., 1985 – *Une approche de la classification sociale en milieu rural sahélien.* Doc. Amira, 84 p.

Mikolasek O., Massou A. M., Allagbada E., sous presse a – « Appropriation et gestion des espaces piscicoles nigériens par les populations villageoises riveraines ». *In : Les espaces de l'halieutique, 4e forum halieumétrique,* Rennes, coll. Colloques et séminaires, IRD, Paris.

Mikolasek O., Oswald M., Boureima A., Massou A. M., sous-presse b – « Savoir-faire paysan et pisciculture au Niger ». *In : Sociétés rurales au Sahel, quel avenir ?*, colloque des universités de Lausanne et Abdou Moumouny de Niamey.

Olivier de Sardan J.-P., 1998 – *Anthropologie et développement. Essai en socio-anthropologie du changement social.* Paris, Apad, Karthala, 221 p.

Oswald M., Mikolasek O., Kodako Y., 1998 – *Projet de développement de la pisciculture en milieu rural (République du Niger).* Doc. Direction de la faune, pêche et de la pisciculture, Ministère de l'hydraulique et de l'environnement, Rép. du Niger, Cirad-EMVT, Montpellier : 97 p.

Poncet Y., sous-presse – « Un système halieutique à niveaux multiples : occupations de l'espace et articulations fonctionnelles ». *In : Les espaces de l'halieutique,* 4e forum halieumétrique, Rennes, coll. Colloques et séminaires, IRD, Paris.

Rogers E. M., 1983 – *Diffusion of innovations.* New-York, The Free Press, Third édition, 453 p.

Sandberg A., 1993 – Gestion des ressources naturelles et droits de propriété dans le grand Nord norvégien : éléments pour une étude comparative. *Nature Science Société,* 2 (4) : 323-333.

Schlager E., Ostrom E., 1992 – Property rights régimes and natural ressources : a conceptual analysis. *Land Economies,* 68 (3).

Schumpeter J. A., 1935 – *La théorie de l'évolution économique.* Paris, Dalloz.

Sidikou H. A, 1997 – « Droit d'usage traditionnel locaux et demande externe des populations urbaines au Niger ». *In* d'Herbes J. M., Ambouta J. M. K., Peltier R., John Libbey Eurotext, Paris : 3-14.

WeberM, 1971 – *Économie et société.* Paris, Pion, tome 1.

Yung J. M., Bosc P. M., 1999 – « Schumpeter au Sahel ». *In* Chauveau J. P., Cormier-Salem M. C, Mollard E. (éd) : *L'innovation en agriculture, questions de méthodes et terrains d'observation,* Paris, IRD, coll. A travers champs : 144-168.

NOTES

1. En langue haoussa : pêcheur = *manssantchi,* « celui qui capture le poisson » ; pisciculteur = *maïkiyon kihi,* « celui qui élève le poisson » ou *maï elijah,* « celui qui a un bassin ».
2. Le suivi de capture mis en place lors de la campagne 1999/00 a permis d'enregistrer plus de 79 tonnes, soit 197,5 kg ha^{-1}
3. Cancian (1989) *in* Chauveau (1999 b).
4. Rogers (1983) *in* Olivier de Sardan (1999) et Dubois (1971) *in* Yung et Bosc (1999).

AUTEURS

MATHIEU DORAY

Géographe. Ensar, 65 rue St Brieuc, 35042 Rennes cedex, France

OLIVIER MIKOLASEK

Agronome. Cirad-EMVT, BP 10544, Niamey, Niger, Olivier.Mikolasek@cirad.fr

AMADOU BOUREÏMA

Géographe. Université A. Moumouni, FLSH, BP 418, Niamey, Niger

MARC OSWALD

Géographe. APDRA-F, 3 square Guimard, 78960 Voisin le Bretonneux, France

Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation

Cas du delta intérieur du Niger au Mali

Raphaèle Ducrot, Jean Zaslavsky et Hamidou Magassa

1 Depuis une dizaine d'années plus de 1 400 ha de petits périmètres irrigués à maîtrise totale de l'eau ont été aménagés dans le delta intérieur du Niger au Mali. Fondés sur l'association riz / boisement, ces aménagements avec leurs plantations d'eucalyptus marquent désormais les paysages. Ils avaient été installés pour contribuer à la sécurité alimentaire des populations dans un contexte de sécheresse récurrente et de crise des systèmes de production traditionnels du delta avec l'hypothèse que la taille réduite de ces infrastructures favorisait leur appropriation et leur maîtrise – et donc la viabilité de ces systèmes irrigués. Comment ces périmètres irrigués ont-ils été appropriés par les populations locales ? Comment s'intègrent-ils dans les stratégies propres des agriculteurs du delta ?

2 Depuis une cinquantaine d'années, les politiques de développement rural des pays du sud se sont souvent appuyés sur le développement d'infrastructures hydroagricoles. Les zones inondées telles que les deltas, qui disposent à la fois d'importantes ressources en eau et en sols ont souvent été privilégiées pour ces aménagements. Différents types d'aménagement ont ainsi pu voir le jour : périmètres à submersion contrôlée permise par la construction de digues comme dans les périmètres de l'Office Riz Mopti et Ségou (Mali), aménagement de barrage pour la régulation des flux à l'amont permettant le développement de grands périmètres irrigués à maîtrise plus ou moins performante de l'eau, comme dans la région du lac Alaotra (Madagascar), construction de barrage permettant de contrôler les remontée salines dans le delta du fleuve Sénégal, etc. Ces aménagements devaient permettre de sécuriser l'alimentation en eau des cultures et permettre le développement d'une agriculture intensive.

3 Or les bilans de ces politiques d'aménagement font apparaître des résultats techniques, économiques et sociaux décevants (Deveze, 1992). Les rendements sont restés limités, les

coûts de fonctionnement des périmètres ne sont que partiellement pris en charge par les attributaires, les infrastructures n'ont pas été entretenues et se dégradent rapidement, les conflits fonciers se sont intensifiés. Ce constat d'un mauvais retour sur investissement dans le secteur de l'irrigation s'est accompagné d'une réorientation des financements, qui seront à partir des années 1980 moins destinés aux nouvelles infrastructures qu'à la réhabilitation des aménagements et à la réforme des institutions (Merrey, 1997). Or le transfert de la gestion des périmètres aux usagers ne s'est pas toujours accompagnés d'une meilleure maîtrise de la gestion des aménagements et d'une amélioration des performances de l'irrigation (Vermillon, 1996 ; Guillaume, 1997).

4 De plus, les préoccupations croissantes vis-à-vis l'environnement soulevaient la question de l'impact négatif de l'irrigation sur la préservation des milieux naturels comme les zones humides des régions arides et semi-arides (Lemly *et al.*, 2000). Pour autant, les populations de ces zones humides sont confrontées à une dégradation des conditions de productions agricoles, halieutiques ou pastorales liée en particulier à la diminution de la pluviométrie entre les années 70 et 90, dans un contexte de forte croissance démographique et de crises des sociétés traditionnelles. Pour les décideurs, l'enjeu est d'assurer la sécurité vivrière de ces communautés tout en préservant les potentialités de ces zones humides. Le développement d'une petite irrigation directement gérée par les populations est ainsi apparu dès le début des années 80 comme une alternative possible aux grands systèmes irrigués pour la sécurité vivrière des populations (Brown et Nooter, 1992). Son expansion s'appuyait sur la diffusion de nouvelles technologies de pompage à moindre coût associées à des aménagements de conception technique simple, ainsi qu'à une organisation fondée sur une large participation des irrigants dans la construction et la gestion de leur périmètre. Il apparaissait en effet que cette participation permettait d'assurer une meilleure adéquation des systèmes irrigués avec les logiques paysannes (Diemer, 1986 ; Van Driel, 1990). Une meilleure coordination des irrigants pour la gestion et le suivi de ces aménagements de petite taille (Lam et Wai Fung, 1996), les coûts d'aménagement et d'exploitation réduits et l'équité de l'accès à l'eau et aux parcelles associés à une bonne maîtrise locale de l'irrigation formaient les conditions de la viabilité de ces systèmes et de leur succès. En s'appuyant sur ces hypothèses, le développement de la petite irrigation a été encouragée dans le delta intérieur du fleuve Niger au Mali à partir de 1986 avec l'appui de l'Union européenne dans le cadre du projet VRES (Valorisation des ressources en eaux de surface, en 5^{e} région).

La petite irrigation pour la sécurité alimentaire

5 Le projet intervient alors que les systèmes de production traditionnels du delta, qui cohabitent depuis près de 5 000 ans, traversent une crise importante liée à une sécheresse récurrente et une pression démographique croissante. La diminution de la pluviométrie moyenne en hivernage comme la réduction de la hauteur et de la durée de la crue dans les années 70-90 se sont accompagnées d'importantes mutations écologiques et socio-économiques. On note ainsi avec une progression des espaces cultivés du delta et de ses bordures au détriment des zones pastorales. Parallèlement, la productivité de ces systèmes ne cessait de diminuer : la production halieutique est passée de 100 000 t environ en 1966 à 50 000 t en 1984 du fait de l'évolution de la crue du fleuve (Kodio *et al.*, ce volume[1]), les systèmes de cultures traditionnels dépendant de la pluie et/ou de la crue annuelle sont devenus très aléatoires.

6 L'élevage transhumant, qui s'est développé à partir du 15e siècle, occupe une place dominante dans la mise en valeur du delta depuis le l'Empire peul de Seku Amadu du 19e siècle. Il a structuré l'organisation spatiale, économique et politique de la région et cette organisation est encore très présente dans la zone. Mais cette région, d'où est originaire *Oryza glaberrima,* est aussi considérée comme l'un des berceaux de la riziculture en Afrique et quatre grands systèmes de cultures y coexistent : les cultures pluviales (à base de mil et sorghos) sur « dunes » ou terrains exondés, les cultures inondées traditionnelles telles que la riziculture de mares, les cultures de décrue (mil, sorgho, manioc, arachide) auxquelles il faut ajouter la riziculture en submersion contrôlée des périmètres de l'Office Riz Mopti. En fait, l'exploitation du delta a longtemps été caractérisée par une spécialisation professionnelle par différentes ethnies, chacun marquant un espace particulier : les Bozos et Somonos étaient chasseurs de gibiers d'eau et pécheurs, les Bamanans agriculteurs des zones sèches à la marge, les Markas riziculteurs et les Peuls éleveurs (Barrière et Barrière, 1995).

7 Les périodes de sécheresse ne sont certes pas exceptionnelles et le delta a connu au cours du 20e une alternance de périodes plutôt pluvieuses ou plutôt sèches. Traditionnellement, les populations faisaient face aux fluctuations du potentiel de production par des migrations extérieures de courte ou longue durée (Barrière et Barrière, *ibid.*). Ainsi les jeunes bozos partaient habituellement vers la Côte d'Ivoire ou le Nigeria pour une ou plusieurs saisons de pêche. Une partie des jeunes agriculteurs se déplaçaient également vers les terres exondées du plateau dogon de la fin août à octobre pour les récoltes de mil et de fonio sauvage, puis vers les plaines inondées de novembre à décembre (récolte de riz sauvage et inondé, de nénuphar, de bourgou). Cependant dans un contexte de sécheresse récurrente, de désorganisation sociale, d'augmentation de la population, de pression accrue sur les ressources, alors que la spécialisation ethnique traditionnelle est de plus en plus remise en cause[2], ces stratégies ne permettent plus de faire face à ces périodes difficiles. Aussi, à la fin des années 80, les habitants du delta doivent faire face à une véritable situation de famine et certains villages sont ponctuellement désertés[3]. L'objectif des décideurs est alors de contribuer à la sécurisation alimentaire des populations par le développement de la petite irrigation permettant une riziculture intensive avec une maîtrise totale de l'eau. Quatre zones d'intervention sont alors privilégiées en bordure de bras d'eau permanents. Il s'agit des régions de Kona, de Youwarou et de Dialloubé dans un premier temps, puis de Korientzé (figure I, hors texte).

Résultats

Un seul modèle d'intervention mais plusieurs types d'aménagement

8 Le développement de la petite irrigation a été permis par la diffusion d'un modèle de développement qui associe un modèle technique d'aménagement, un modèle social de gestion des périmètres fondé sur une gestion autonome par les irrigants et une démarche de formation.

9 L'aménagement-type, dont la surface varie initialement entre 20 et 30 ha, se compose d'un groupe motopompe de taille variable selon la taille du périmètre, d'un bassin de dissipation[4] cimenté, d'une tête morte[5] suivie d'un canal principal et de canaux secondaires en terre, de sous-arroseurs[6] raccordés aux secondaires par des gouttières en terre cuite, de fossés d'évacuation et d'une digue de ceinture protégeant le périmètre

contre les crues. Il s'agit donc d'infrastructures relativement rustiques et simples, avec des coûts d'aménagements initialement assez élevés (1,5 millions F CFA par hectare[7] pour un aménagement de 30 ha). Cependant, la procédure d'aménagement tend rapidement à se simplifier : les études se réduisent au tracé du canal principal en fonction de la topographie du terrain, les digues de ceinture sont supprimées, les magasins sont construits en banco. Le projet fournit les matériaux non disponibles dans le village (ciment, etc.) et le groupe motopompe. Cette simplification s'accompagne d'une diminution des coûts d'aménagement.

10 L'attribution des parcelles est conditionnée à la participation de la famille dans les travaux de construction du périmètre. Une grande majorité des familles des villages identifiés deviennent ainsi attributaires de parcelles, mais compte tenu de la superficie totale aménagée chacune ne dispose que de surfaces très réduites de l'ordre de 25 à 30 ares par famille, une même famille pouvant au mieux cumuler 2 à 3 parcelles en fonction de la main d'œuvre que le chef de famille a pu mobiliser au moment de la construction du périmètre. La mise en valeur repose sur une riziculture intensive d'hivernage. La riziculture de contre-saison (ou le maraîchage) est également conseillée mais assez rapidement le projet propose l'aménagement de périmètres spécifiques de boisement d'eucalyptus à faible densité[8] (500 ou 1 000 pieds ha^{-1}). Initialement, à chaque périmètre irrigué devait être associé un périmètre de boisement, ce dernier étant cultivé en riz durant la contre saison chaude pendant les 2 à 3 premières campagnes ; cette riziculture permet alors de couvrir les charges d'irrigation des plantations tandis que les arbres limitent l'impact des vents chauds sur la culture. A partir de la troisième ou quatrième année, les arbres ont atteint un stade de développement suffisant pour se passer d'irrigation et l'ombrage apporté à la culture pour la densité de 1 000 pieds ha^{-1} ne permet plus la riziculture. Par la suite, le projet conseillera de réduire la densité de plantation de façon à poursuivre la mise en culture du périmètre au-delà des premières années. Dans l'esprit des concepteurs de ce modèle, la valorisation des perches d'eucalyptus au bout de 5 à 6 ans devait permettre l'approvisionnement d'un compte d'amortissement pour la motopompe villageoise

11 La gestion de chaque périmètre se fonde sur des associations de type pré-coopératif dont l'organisation repose classiquement sur un double pivot : un comité de gestion est chargé de la gestion courante de l'aménagement et un comité de surveillance est chargé du contrôle. Le comité de gestion, formé d'une dizaine de membres, est élu par l'assemblée générale des attributaires à laquelle il rend compte. Il est chargé d'élaborer le programme d'activités du périmètre, le budget de campagne, le règlement intérieur de l'association et son suivi, d'organiser l'entretien du réseau et des motopompes, d'établir un bilan de campagne, de fixer et de récupérer les redevances, les amendes et éventuels crédits, d'acheter les intrants et de commercialiser le paddy récupéré. Le projet met à disposition du groupement dès la première année un fonds de roulement lui permettant d'assurer le fonctionnement du périmètre durant la première année (2 campagnes).

12 L'approche proposée s'appuie dès le début du projet sur une très large participation des groupements paysans à tous les stades (de la construction du périmètre aux négociations avec les opérateurs de la filière amont et aval) et niveaux d'interventions. L'objectif de cette responsabilisation est de permettre aux groupements de prendre en charge cette infrastructure tant au plan technique ou que de gestion dès le deuxième cycle cultural. Ainsi, dès la deuxième année, l'association assume de façon autonome les principales fonctions liées à la gestion technique et financière du périmètre et de ses équipements. Il

se charge donc de l'achat des intrants, de la collecte de la redevance et de la commercialisation des produits. Cette autonomisation rapide a été permise par une démarche de formation à la gestion couplée à un volet d'alphabétisation fonctionnelle assurée par des ONG appuyées par le projet. Elles assurent également la formation des producteurs aux techniques de riziculture intensive durant la première campagne de production. Au bout de la deuxième campagne, les ONG ne fournissent plus qu'un accompagnement ponctuel des groupements à la demande de ces derniers, sous forme de conseils techniques ou d'appuis en gestion (contrôle de certains calculs par exemple, fonction d'audit simplifié, etc.).

13 Le modèle proposé n'est pas en soi original et cette conception d'aménagement et de gestion se retrouve dans d'autres pays de la sous-région par exemple dans la vallée du fleuve Sénégal (Lavigne-Delville, 1991 ; Bélières et Yung, 1998) ou au Tchad (De Nys, 1997). Mais dans le cas du Mali, le projet a privilégié l'autonomisation des organisations de producteurs dès les premiers aménagements et les premières étapes de la construction ainsi qu'un partenariat avec des ONG locales pour la formation et l'appui aux gestionnaires. Près de 10 ans après le début du projet, on recense ainsi près de 1 400 ha aménagés correspondant à près de 150 périmètres dans les quatre zones de travail du VRES.

14 Le suivi des réalisations en matière d'aménagement (tableau 1) met en évidence une réduction progressive de la taille des périmètres, qui traduit une évolution de l'approche du projet. En effet, le projet va mettre l'accent à partir de 1995 sur le financement de projets de plus petite taille (7 à 8 ha appelés MIG ou *Micro-périmètres irrigués de groupe*) que le modèle initial de 20 à 30 ha. Il s'agit de petits périmètres collectifs réunissant une dizaine de familles. Le projet finance également le développement de petits périmètres familiaux de très petite taille[9] (1 à 2 ha). La réduction des superficies aménagées s'accompagne d'une simplification de la démarche et de la conception des aménagements, se traduisant par une diminution des coûts d'aménagement. La construction d'un MIG en 1998 est alors évaluée à 750 000 F CFA ha^{-1} (prix comprenant le magasin en matériaux locaux, le groupe motopompe, la main d'œuvre villageoise valorisée).

Tableau 1. Périmètres aménagés dans le delta intérieur du Niger par le projet VRES.

	1e phase (1989-1995)	2e phase (1995-1998)	Total
Nombre de périmètres	50	104	154
Surfaces aménagées (ha)	831	541	1 372
Moyenne / périmètres (ha)	17	5	9

15 En revanche, le modèle social de gestion reste le même pour ces petits périmètres sauf pour les PEIF qui sont gérées de façon individuelle par un chef de famille[10]. Sur les MIG, un comité de gestion de taille réduite est formé ; il regroupe un trésorier et un motopompiste autour du président. Mais la démarche de formation et d'accompagnement à la gestion reste identique. De même, un fond de roulement est mis à disposition du groupement et les boisements à faible densité sont encouragés. Enfin une attention particulière est accordée à l'élaboration de MIG féminins et de MIG jeunes.

Une bonne maîtrise globale de l'irrigation

16 L'analyse du fonctionnement technique de ces périmètres met en évidence une véritable appropriation technique du modèle proposé. Tout d'abord, les villageois ont appris à maîtriser les techniques de construction des périmètres proprement dits, et sont en mesure de reproduire eux-mêmes ces aménagements : de nombreux MIG ont en effet été élaborés dans les mêmes villages où étaient installés les PIV. D'autre part, les taux de mise en valeur sont bons : pour l'hivernage 1997, ils sont respectivement de l'ordre de 86 % pour les MIG et de 97 % pour les PIV. L'absence de culture correspond soit à des problèmes d'irrigation localisée (quelques PIV concernés) : seulement 3 périmètres sur 132 aménagés n'avaient pas été cultivés en 1997 au moins une fois dans l'année. Dans les trois cas concernés, il s'agissait de problèmes liés au fonctionnement du groupe motopompe (qui n'avait pu être livré à temps ou qui était en panne). Enfin, les techniques de riziculture intensive ont largement diffusé et les rendements obtenus en hivernage sont relativement élevés : ils sont estimés à 5,6 t ha^{-1} (sondage agronomique). En contre-saison, les rendements moyens sur certains périmètres atteindraient 9 t ha^{-1}.

17 La taille réduite des aménagements facilite le contrôle des infrastructures et la coordination des producteurs. C'est notamment vrai pour les MIG. Quelques problèmes de rupture de la tête morte sont cependant apparus liés à la nature du sol sur certains périmètres, que les paysans se sont efforcés de résoudre en tapissant les zones fragilisées avec des briques de banco. Globalement, la conduite de l'irrigation est bien maîtrisée et on ne met pas en évidence de conflits ou de ruptures majeurs sur l'organisation des tours d'eau ou sur l'approvisionnement en eau. La fonction d'approvisionnement est également bien maîtrisée, même pour les zones les plus enclavées où l'acheminement des intrants nécessite une capacité certaine d'anticipation[11]. Certaines organisations ont également réussi à négocier des crédits fournisseurs sur le gas-oil ou les engrais. En vue de limiter les coûts d'approvisionnement, le projet a encouragé la formation d'inter-PIV regroupant les bureaux de différents périmètres d'un même bras du fleuve. Ces organisations fédératives ont également pu négocier des remises sur l'achat de certains produits. De même, la commercialisation des frais de redevance récupérés en paddy est bien maîtrisée par les groupements. Une grande partie du paddy est vendue entre avril et juin, en fonction des prix sur les marchés locaux et des besoins financiers des groupements. Ces marchés très enclavés, avec des filières très courtes offrent des prix élevés à la soudure, bien supérieurs à ceux que l'on peut observer dans d'autres zones productrices de riz au Mali (Kuper et Maïga, ce volume[12]). Ces prix élevés, associés aux relativement bons niveaux de rendement observés permettent d'assurer une rentabilité élevée de la riziculture. A raison de 4,81 ha^{-1} (rendement battu) et de 125 F CFA[13] le kg de paddy, les revenus du riz irrigué sur un PIV de 30 ha se situe actuellement autour de 318 000 F CFA par hectare (hors amortissement du périmètre), avec 47 % de charges. Cette rentabilité diminue avec la taille du périmètre : le revenu n'est plus que 281 000 F CFA à l'hectare avec 53 % de charge pour un MIG de 8 ha. La riziculture se révèle donc rentable d'autant plus que les prix restent élevés[14], du fait de la dévaluation et de l'enclavement des marchés locaux. Les charges d'irrigation proprement dites (avec amortissement de la motopompe) varient donc entre 20 et 30 F CFA à l'hectare.

Des stratégies d'OP à court terme

18 Pourtant, si les groupements maîtrisent globalement bien la gestion à court terme de l'aménagement et assurent bon an mal an la mise en route de la campagne, la situation financière des groupements reste assez fragile. Elle résulte en partie de stratégies qui privilégient le plus souvent les revenus à court terme, au détriment de la viabilité à long terme des aménagements. Ces stratégies s'expriment notamment par la fixation d'un prix élevé de récupération[15]. D'autre part, l'amortissement de la motopompe est rarement pris en compte dans le calcul des coûts de l'eau et de la redevance. Il est vrai que les boisements devaient, selon le modèle proposé, permettre la constitution d'un fond d'amortissement. Ainsi la situation de près d'un PIV sur quatre est préoccupante avec des niveaux d'endettement important et/ou un niveau de redevance ne couvrant pas les frais de campagne. Ils se trouvent donc dans un processus de décapitalisation. Près d'un périmètre sur deux est dans une situation assez fragile, ils assurent en moyenne leurs charges de campagne mais n'ont pas ou peu de marges financières. D'une manière générale, la situation financière des périmètres se caractérise par sa fragilité et les marges sont trop réduites pour faire face à des difficultés imprévues (mauvaise récolte, panne de la motopompe, baisse brutale du prix du paddy). La situation des MIG, de création récente, était plus délicate à analyser mais les premières données recueillies montraient que la plupart des MIG couvraient à peine leurs frais de campagne hors amortissement. Les taux d'endettement de certains MIG paraissait assez inquiétants pour des années de démarrage.

19 Or la situation financière des périmètres est d'autant plus préoccupante que de grosses interrogations existent sur les potentialités de valorisation des perches d'eucalyptus. Et la maintenance des groupes motopompes reste aussi très insuffisante ; elle se révèle particulièrement onéreuse du fait de l'enclavement des périmètres, de la relative rareté en mécaniciens formés sur ce type de matériel et des choix initiaux fait par le projet. Celui-ci a en effet privilégié une faible responsabilisation des motopompistes et la professionnalisation de l'entretien. Pour l'instant, ces mécaniciens bénéficient encore des subventions du projet, ce qui leur permettent d'intervenir à la demande des groupements à moindre coût. Tout laisse penser que les groupements privilégient des stratégies curatives d'entretien qui pourraient entraîner un vieillissement précoce des équipements, en particulier pour les MIG et PEIF dont les équipements sont à la fois moins robustes et relativement plus coûteux à l'entretien que pour les PIV.

20 Enfin, cette fragilité financière accentue la précarité des organisations qui doivent également faire face à la fois à un manque de formation, à des capacités de gestion limitées, à l'incertitude du statut foncier des aménagements et à l'absence de statut légal. De nombreux périmètres ont connu de sérieux conflits de gestion articulés autour de problèmes internes (sociaux ou politiques) du village. En dehors de quelques cas patents mais rares de détournement, la plupart des crises auxquelles ont dues faire face les organisations paysannes sont de fait attisées par des conflits de personnes ou de stratégies. De façon générale, on soulignera la forte implication des élites locales au sein des groupements. Dans le sillage des PIV et MIG on voit ainsi émerger de nouveaux leaders paysans. Le renouvellement rapide des responsables paysans dans de nombreux bureaux témoigne d'une certaine vitalité démocratique des associations et de l'enjeu de pouvoir que constitue désormais les périmètres dans les villages. Mais ces rotations, dans

un contexte de très faible niveau d'alphabétisation, fragilisent les groupements et en particulier les inter-PIV de création récente. Ces derniers cumulent les problèmes internes de gestion et d'organisation de chacun de ses membres et se heurtent à l'absence de ressources propres. Aussi les fonctions actuelles de ces structures fédératives sont plus sociopolitiques qu'économiques, et elles assurent un rôle d'arbitrage des conflits internes et de représentation auprès du projet ou des autorités.

Stratégies paysannes : d'une logique sociale vers une logique économique

21 L'installation d'un périmètre s'accompagne du recentrage des activités des irrigants autour de la riziculture avec une diminution plus ou moins forte des surfaces en cultures pluviales et inondées traditionnelles[16], le périmètre assurant un minimum alimentaire. Cependant le phénomène varie selon le village, la zone et les diverses stratégies des exploitants en fonction de leur main d'œuvre disponible, de leurs ressources en terre et de leurs objectifs de production. On notera que la culture sur périmètre entre peu en concurrence avec la pêche du fait d'un décalage saisonnier. La riziculture de contre-saison chaude relève rarement d'une volonté délibérée du village. Il s'agit le plus souvent d'une culture de rattrapage – pratiquée en cas de mauvais hivernage – ou d'une culture « imposée par le projet » par la nécessité d'irriguer les boisements. Les cultures maraîchères de contre-saison froide connaissent un succès mitigé du fait de l'étroitesse des marchés et des difficultés de commercialisation.

22 De façon générale, l'introduction de la culture irriguée, qui est contraignante à la fois en terme de travail et d'organisation, ne se fait pas sans problème et des tensions peuvent émerger entre stratégies individuelles autonomes et diversifiées dans les systèmes de cultures traditionnels et les exigences du travail collectif dans les périmètres. Ces travaux combinent à la fois des décisions relevant du groupement (date de mise en eau), du chef de lignage (organisation du travail au sein du lignage) et du chef d'exploitation. De façon générale, la multiplication de parcelles au sein de plusieurs périmètres, stratégies que l'on retrouve dans de nombreux villages, tend à rendre plus complexe cette organisation. L'extension des superficies irriguées s'appuie soit sur la construction de nouveaux périmètres par le VRES (type MIG), soit par l'implantation de périmètres « privés » (c'est-à-dire hors appui et financement du projet). En effet, la petite irrigation privée connaît dans la zone un fort développement, soutenue par les prix élevés du riz. Ce développement repose sur la diffusion des techniques simples d'aménagement proposées par le projet dont le succès réside dans les faibles coûts de réalisation et d'entretien (tête morte rudimentaire sans largeur de cavalier[17], cavalier non compacté, bassin de dissipation rudimentaire, planage manuel grossier). La plupart des paysans estiment qu'ils sont désormais en mesure de réaliser eux-mêmes ces aménagements sans appui extérieur. Ainsi dans certains villages comme Kotaka ou Kona, ces aménagements privés peuvent dépasser les surfaces aménagées par le projet. L'appropriation s'opère à la fois sur le plan technique et social, et les modes de gestion sont souvent voisins de ceux proposés par le projet. Cependant d'autres types plus complexes de gestion commencent à apparaître qui vont du périmètre strictement individuel à l'aménagement en vue d'une exploitation indirecte (métayage). Enfin, il existe une certaine dynamique organisationnelle autour de ces aménagements privés avec, par exemple, l'intégration de certains périmètres privés dans l'un des inter-PIV soutenu par le projet ou l'adhésion de

l'association des irrigants « privés » de Kona auprès d'une caisse locale de crédit. Cette dynamique est soutenue par le développement d'un marché privé de la motopompe, en dépit de l'absence de crédit institutionnel à l'équipement. De fait, ce développement profite à quelques commerçants et les formes de crédits proposées témoignent de la faiblesse des marges de manœuvre dont disposent les paysans.

23 Il n'en reste pas moins que ces aménagements « privés » sont souvent très, voire extrêmement sommaires : certains n'ont pas prévu de bassin de dissipation qui est remplacé par un simple fût, les canaux sont très rudimentaires et les ruptures sur ces canaux mal compactés fréquentes. On trouve de nombreux problèmes de planage, voire de contre-pente. En fait, toutes les surfaces aménagées ne sont pas dominées. Le plus souvent, l'exploitant choisit d'aménager la surface maximale en fonction du foncier et de la main d'œuvre disponible puis se mobilise pour trouver un groupe motopompe, quelque en soit la capacité. De plus, les façons culturales sont peu intensives : si le repiquage de variétés à haut potentiel de rendement est généralement la règle, les parcelles sont peu fertilisées et les implantations tardives.

24 Enfin, à coté de ces périmètres irrigués, se développent également des modes d'utilisation diversifiées des groupes motopompe qui n'impliquent pas tous une maîtrise totale de l'eau. Certains producteurs pratiquent simplement une irrigation d'appoint de mares, visant à mettre en eau la pépinière et assurer la levée des plants indépendamment de la pluviométrie et/ou crue. D'autres ont développé une forme d'aménagements semi-submersibles irrigués par pompage en début de cycle uniquement. Il s'agit d'une riziculture assez aléatoire du fait de la variabilité de la crue, des risques de prédation et d'enherbement. Le fonctionnement de ces systèmes reste encore assez mal connus. Ces systèmes d'irrigation peu intensifs permettent-il de couvrir le coût de l'eau ? Il est difficile de rendre compte de la rentabilité de ces initiatives privées en l'absence de suivi détaillé mais elle est probablement assez faible : les stratégies de maintenance sont clairement plus curatives que préventives et il apparaît que près de trois périmètres privés sur quatre ne sont plus en culture après la troisième campagne du fait de l'état des motopompes.

25 Enfin, l'extension non contrôlée de ces superficies n'est pas sans poser problèmes. Dans un certain nombre de villages, il apparaît que tous les sites facilement aménageables, c'est-à-dire en bordure du fleuve, sur sols favorables et sur site non conflictuel, ont été aménagés. D'emblée, le VRES a cherché à éviter tout conflit foncier, quitte à se retirer d'un projet lorsqu'*a posteriori* des tensions apparaissaient (par exemple pour des revendications liées au passage du bétail). La réduction de la taille des périmètres procédait de cette même stratégie de contournement. Il n'en reste pas moins que l'appartenance foncière des périmètres reste floue. Ainsi, des MIG seraient installés sur des terres n'appartenant à aucun des attributaires, qui sont empruntées selon des modalités mal maîtrisées. De fait, on peut craindre que le développement de la petite irrigation n'attise les tensions foncières dans une région où elles sont déjà très vives, notamment du fait de la pression agricole sur les espaces pastoraux, comme cela a été le cas au Nord Nigeria (Kimmage, 1991). Cependant les relations entre irrigation et élevage ne sont pas forcément conflictuelles. L'introduction de la culture intensive s'accompagne d'une amorce de transformation de ces relations. La fumure organique occupe une place croissante dans les préoccupations sur le maintien de la fertilité et la poudrette commence à s'acheter dans certains villages. De même, la durée de la transhumance, en particulier pour les bœufs de labour, tend à se réduire. Toutes ces modifications sont

encore réduites et localisées mais elles traduisent les possibilités d'une évolution des rapports entre éleveurs et riziculteurs.

Conclusion

26 Les premiers périmètres aménagés répondaient à une logique sociale d'aménagement visant à sécuriser l'alimentation de populations fragilisées, sur une base communautaire la plus large possible. Cette logique sociale justifiait l'attribution de parcelles de très petite taille. Près de 10 ans après les premiers aménagements, l'ensemble des périmètres construits par le projet VRES permettrait de couvrir 40 % des besoins en céréales des villages encadrés. Les exploitants admettent couvrir sur leurs parcelles 3 à 6 mois de leur consommation de riz suivant la taille de la famille et les surfaces qu'ils maîtrisent. La couverture globale ne garantit pas que tous les exploitants du projet bénéficient de la même façon de ces stocks de sécurité : 95 % de la production demeurent dans les villages touchés ou dans leur environnement immédiat et ne concernent que 9 % des besoins de la population totale des arrondissements concernés. Notons que d'autres projets d'appui à la petite irrigation interviennent dans le delta ; les modalités d'intervention sont souvent assez différentes d'un projet à l'autre, ce qui n'est pas sans poser problème, notamment lorsque les zones d'intervention se jouxtent (cas du projet VRES et du projet Mali-Nord, par exemple).

27 Force est de constater que les logiques relèvent désormais de stratégies plus économiques que sociales. Cette stratégie s'inscrit clairement dans la politique de désengagement de l'état malien et de libéralisation. Elle bénéficie dans le delta intérieur du fleuve Niger, des prix élevés de riz qui permet de rendre compétitif la riziculture irriguée. C'est dans ce contexte que s'inscrit le développement des micro-périmètres (de moins de 10 ha) et de l'irrigation privée, qui permettent aux producteurs d'étendre leurs superficies irriguées et donc d'augmenter les revenus tirés de l'irrigation. Mais ce nouveau contexte d'intervention pose la question de la justification d'une subvention à l'équipement, même si certains aménagements relèvent encore de stratégies sociales ; c'est notamment le cas des périmètres de femmes ou de cadets. De même, dans certains villages qui ne disposent pas encore de superficies aménagées, les populations demandent d'abord un accès communautaire à l'irrigation.

28 En dépit d'un contexte favorable, se pose également la question du renouvellement de l'outil de production. L'augmentation des revenus des groupements et producteurs au moyen de la diversification des activités (boisements, maraîchage) n'a pas connu le succès espéré du fait de la faiblesse des débouchés, et les marges de manœuvre des irrigants et groupements restent limitées. Dans ce contexte, une réflexion sur le financement de l'irrigation dans la zone s'impose.

29 Il apparaît également que la densification des villages situés en bordure du fleuve ou d'un de ses bras qui s'opérait depuis 20 ans du fait de la sécheresse, tend aujourd'hui à s'amplifier en prenant appui sur les stratégies foncières qui touchent les terres aménagées ou aménageables de l'ensemble de delta. Dans certaines zones déjà, la multiplication des aménagements en bordure du fleuve réduit encore l'espace pastoral et notamment l'accès du bétail au fleuve et aux bourgoutières, ce qui accentuent les tensions entre éleveurs et agriculteurs.

30 Il devient désormais nécessaire de mieux prendre en compte les questions économiques du développement local et tous les aspects relatifs au foncier et à l'aménagement du territoire. La mise en place des communes offre des nouvelles opportunités de gestion locale pouvant permettre de mieux combiner une approche sociale et de sécurité alimentaire avec un objectif de développement économique. Il s'agit en fait d'appuyer les communes dans la planification de leur développement. On pourrait pour cela s'appuyer sur les expériences développées dans le delta du fleuve Sénégal pour la mise au point d'une démarche d'appui à l'élaboration des plans d'occupation et d'affectation des sols au Sénégal (d'Aquino *et al.*, ce volume[18]).

Remerciements

31 Les résultats présentés résultent d'une mission financée par le FED et réalisée en novembre 1998. Nous remercions l'équipe du VRES pour son appui lors de cette mission.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Barrière O, Barrière C, 1995 – *Le foncier-environnement : pour une gestion viable des ressources naturelles renouvelables au Sahel. Approche interdisciplinaire dans le delta intérieur du Niger (Mali).* Montpellier, Orstom-CNRS-PFC-AFVP-Cirad, 517 p.

Bélières J.-F., Yung J. M., 1998 – *Étude des conditions de mise en valeur des périmètres irrigués dans le département de Matam.* Doc. Saed, Cirad-Tera, Montpellier, 185 p.

Brown E. P., Nooter R. (éd.), 1992 – *Sucessfull small scale irrigation in the Sahel.* Washington DC, World bank, Technical paper, n° 171, 70 p.

De Nys E,, 1997 – *La gestion de la redevance eau sur trois petits périmètres irrigués au Tchad.* Mémoire DAT, ESAT1, Cnéarc, Montpellier, 117 p.

Deveze J. C, 1992 – *Bilan et perspective de quatre grands aménagements hydroagricoles en Afrique et à Madagascar (lac Alaotra, Office du Niger, delta du fleuve Sénégal, Nord Cameroun).* Doc. CCCE, 37 p.

Diemer G., 1986 – « Le génie rural : applicabilité universelle ou ethnoscience ? ». *In : Aménagement hydroagricoles et systèmes de production,* Montpellier, déc. 1986 : 175-185.

Guillaume J., 1997 – « Les conditions d'une gestion paysanne des aménagements hydroagricoles en Afrique de l'Ouest ». *In : Les conditions d'une gestion paysanne des aménagements hydroagricoles en Afrique de l'Ouest,* Niamey, 24-28 sept. 1996 : 15-57.

Kimmage K., 1991 – Small-scale irrigation initiatives : the problems of equity and sustainability. *Appl. Geogr.,* 11 : 5-20.

Lam J., Wai Fung, 1996 – Improving the performance of small-scale irrigation systems : the effects of technological investments and governance structure on irrigation performance in Nepal. *World development,* 24 (8) : 1301-1315.

Lavigne-Delville P., 1991 – *La rivière et la valise : irrigation, migration et stratégies paysannes dans la vallée du fleuve Sénégal.* Paris, Syros Alternatives, Ateliers du développement, 231 p.

Lemly A. D., Kingsford R. T., Thompson J. R., 2000 – Irrigated agriculture and wildlife conservation : conflict on a global scale. *Environmental management,* 25 (5) : 485-512.

Merrey D. J., 1997 – *Expanding the frontiers of irrigation management research. Results of research and development at the International irrigation management institute, 1984-1995.* Doc. IIMI, Colombo, Sri-Lanka, 217 p.

Van Driel W. F., 1990 – "The relation between the technical concept and the management of irrigation schemes : example of the small-scale village irrigation schemes and the medium-sacle schemes on the left bank of the middle valley of the Senegal River". *In : Design for sustainable farmer-managed irrigation schemes in sub-saharan Africa,* Wageningen, 5-8 February 1990 : 20 p.

Vermillion D. L., 1996 – « Le transfert de gestion de l'irrigation : conditions de succès, options de changement ». *In : Les conditions d'une gestion paysanne des aménagements hydroagricoles en Afrique de l'Ouest,* Niamey, 24-28 sept. 1996 : 79-87.

NOTES

1. Kodio A., Morand P., Diénépo K., Laë R., ce volume – « Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes : implications en terme de gestion ». *In : partie 3.*

2. Les activités des groupes traditionnels tendent à se diversifier, les pécheurs ou les Peuls se lancent dans la riziculture, les agriculteurs investissent dans le bétail. Au lien ethnie/ressource tend à se substituer des relations plus complexes liant nature de l'exploitant, statut social et pouvoir politique (Barrière et Barrière, 1995).

3. D'après nos entretiens, le village de Kamaka par exemple ne comptait plus que 6 adultes.

4. Bassin situé immédiatement à l'aval de la motopompe (au niveau du refoulement) qui permet de dissiper l'énergie cinétique du flux hydraulique issu du pompage, afin d'éviter la dégradation des canaux. Il permet l'écoulement gravitaire de l'eau dans les réseaux à l'amont.

5. Canal acheminant l'eau depuis le site de pompage jusqu'au périmètre proprement dit.

6. Arroseurs et sous-arroseurs : canaux hiérarchisés. En général, les arroseurs desservent directement les parcelles.

7. Comprenant l'aménagement proprement dit, le groupe motopompe, le magasin, les études préalables permettant d'identifier et de caractériser la topographie du site.

8. Plusieurs densités de plantations sont testées entre 2 000 pieds ha^{-1} et 250 pieds ha^{-1}.

9. Ou PEIF : Petite exploitation irriguée familiale ou féminine.

10. Certains PEIF sont cependant des périmètres collectifs féminins regroupant parfois plusieurs dizaines de femmes. Dans ce cas, un comité de gestion est mis en place.

11. Certains villages ne sont accessibles à certaines périodes qu'à pied : les pistes sont trop boueuses pour permettre le passage d'un véhicule et les niveaux d'eau des bras du fleuve trop bas pour permettre la navigation.

12. Kuper M., Maïga H., ce volume – « Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger (Mali) ». *In : partie 3.*

13. Indices moyens de la zone.

14. Le paddy à la récolte se négociait dans le delta 25 % à 30 % plus cher que sur l'Office du Niger et les écarts tendent à se maintenir sur l'année.
15. La redevance est en général payée en nature, et la quantité de paddy fournie dépend du prix de récupération fixé par le groupement.
16. Riziculture de submersion libre.
17. Ouvrage hydraulique le long des canaux permettant le renforcement du canal et déplacement des usagers.
18. D'Aquino P., Camara S., Diop B., ce volume – « La gestion des zones inondables par les collectivités locales : le cas du delta du Sénégal ». *In : partie 1.*

AUTEURS

RAPHAÈLE DUCROT

Agronome. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France, raphaele.ducrot@cirad.fr

JEAN ZASLAVSKY

Agronome. 4 passage de la Main d'Or, 75011 Paris, France, jean.zaslavsky@wanadoo.fr

HAMIDOU MAGASSA

Agronome. Service d'experts pour les ressources naturelles et l'environnement au Sahel (SERNES), ACI 2000, Hamdallaye, Bamako, Mali

Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger (Mali)

Marcel Kuper et Hamadoun Maïga

1 Le delta intérieur du Niger au Mali, vaste aire d'épandage des eaux du fleuve avec une superficie inondable de plus de 30 000 km^2, est traditionnellement une zone de production de riz. *Oryza glaberrima,* dont on pense qu'il s'agit d'une espèce originaire du delta, datant de 1 500 ans avant J.-C. (Goli, 1976), y est actuellement toujours l'espèce de riz la plus répandue. Ce riz flottant, cultivé dans des zones basses sans aucune maîtrise de l'eau, peut supporter des lames d'eau importantes suivant le rythme de la crue du fleuve Niger, sous condition de pluies préalables suffisantes pour « amener la germination et un bon départ de végétation » afin d'éviter sa submersion (Viguier, 1937). Ainsi, le riz « traditionnel » du delta est à la fois très sensible aux aléas climatiques avec des variations énormes de la production annuelle (du simple au double), et très adapté au milieu dynamique du delta vif grâce à une hauteur de tige qui peut atteindre 5 m.

2 La Direction régionale de l'appui au monde rural (DRAMR) du Ministère du développement rural estime la superficie cultivée du riz traditionnel dans la Région de Mopti à 100 000 ha, dont la majorité des variétés concerne l'espèce *O. glaberrima,* dit « riz rouge » de par la couleur de son péricarpe. Dans la Région de Tombouctou, on cultive entre 15 000 et 30 000 ha de riz flottant, et entre 3 000 et 5 000 ha de riz *kobé* (riz repiqué). Cultivé d'une façon extensive, les rendements sont relativement faibles, moins d'une tonne à l'hectare. La contribution relative du riz traditionnel du delta (correspondant aux régions de Mopti et de Tombouctou) dans la production totale du Mali s'élève actuellement à seulement 10 % environ. Cette contribution a proportionnellement diminué depuis une dizaine d'années à cause de la forte augmentation de la production de l'Office de Niger (plus de 300 000 tonnes en 2000) (Kuper et Tonneau, 2002).

3 Afin de donner toute l'importance que peut avoir le riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger, voici un témoignage sur l'origine et les conditions de diffusion d'*O. glaberrima* : « Le riz local était la propriété exclusive des *Diakôbès* (*i.e.* les gens de Dia), un peuple du nord du Mali. Les *Diakôbès* gardaient jalousement leur riz. Ils le vendaient

seulement en *ningou* (*i.e.* riz décortiqué). La sortie du *houlbo* (*i.e.* paddy) hors de leur territoire était interdite. Les Peuls d'avant l'islam se tressaient les cheveux comme les femmes. Ces derniers venaient dans la région de Dia où ils faisaient toutes sortes d'acrobaties pour que leurs cheveux soient en contact avec le *houlbo* récolté dans les champs. Ainsi leur chevelure captait les graines qu'ils camouflaient sous leur chapeau. De retour dans leur village, ils récupéraient les graines. Ils ont pu constituer de la semence. Quelques années plus tard, les *Diakôbès* ont appris que le *glaberrima* était cultivé par un autre peuple. Ils ont déclaré la guerre aux usurpateurs pour les empêcher de cultiver le *glaberrima.* Malheureusement, ils ont perdu la guerre. S'ils n'avaient pas perdu cette guerre le *glaberrima* ne serait pas présent partout aujourd'hui dans le delta intérieur du Niger » (communication orale de N. Waïgolo, village de Ténenkou, 1999).

4 Aujourd'hui, le riz traditionnel du delta ne suscite nullement l'attention dont fait l'objet en général la filière riz au Mali. Les études sont en général orientées vers l'Office du Niger, qui assure 50 % de la production totale de riz au Mali, et dans une moindre mesure vers le riz des bas-fonds dans le sud du Mali (Demé, 1999). De la même manière, les investissements du gouvernement, soutenus par les bailleurs de fonds, se sont orientés surtout vers le réaménagement des casiers rizicoles de l'Office du Niger[1]. Ce manque d'intérêt de la part de la recherche et du développement peut être expliqué par le faible taux de commercialisation du riz rouge en dehors du delta et la difficulté d'accès des zones de production. Pourtant, Gallais (1984) définit le Moyen-Niger du delta comme « *l'artère maîtresse d'un espace commercial étendu à l'ensemble occidental du continent africain* ». Il existe en effet un grand nombre de marchés dans le delta. Poncet et Troubat (1994) indiquent un total de 81 marchés d'intérêt divers (régional, local, rural) répartis d'une façon très hétérogène dans le delta : la rive droite jusqu'au lac Débo est effectivement mieux pourvue en marchés que la rive gauche. Gallais (1984) attribue cette dissymétrie à la différence de composition de population : les Peuls de la rive gauche sont moins impliqués traditionnellement dans le commerce que les Markas de la rive droite. En revanche, l'intérieur du delta, et notamment l'interfluve entre le Diaka et le Niger, compte seulement cinq marchés pour une superficie de plus de 6 000 km^2. Les céréales comptent parmi les denrées les plus importantes de ces marchés.

5 Le but de cette étude est d'analyser la commercialisation du riz traditionnel du delta intérieur du Niger. Les objectifs sont de comprendre le fonctionnement des marchés et leur organisation spatio-temporelle dans le delta, de déterminer les zones de production et de commercialisation du riz traditionnel et de quantifier les flux de riz traditionnel.

6 Le riz traditionnel dans le delta est cultivé essentiellement selon quatre types de production :

- *le riz à submersion libre,* presque sans contrôle sur la montée et la descente de l'eau dans les parcelles : la DRAMR estime qu'à présent environ 100 000 ha sont régulièrement cultivés, la production est très variable et les rendements sont faibles (fig. 1) ;
- *le riz à submersion contrôlée* des casiers de l'« Opération Riz » de Ségou (ORS) et de Mopti (ORM) : les aménagements hydrauliques, qui datent des années 1970, permettent de retarder la montée de l'eau pendant la crue et de bloquer l'eau pendant la décrue ; à l'ORM, environ 18 000 ha sont récoltés annuellement sur une superficie aménagée d'environ 33 000 ha (Cissé et Gosseye, 1990) ; les superficies récoltées à l'ORS sont de l'ordre de 15 000 ha sur une superficie aménagée de 34 000 ha (Denon *et al.*, 1995) ; les rendements sont inférieurs à 1 t ha^{-1} (de paddy) ;

- *le riz repiqué* (riz *kobé*) : les paysans font des pépinières et repiquent le riz dans des mares et des bas fonds ; la superficie annuelle varie entre 3 000 et 5 000 ha, et les rendements entre 600 et 1 050 kg ha^{-1} ;
- *le riz de décrue* : ce riz « transhumant » est cultivé dans les lacs périphériques du delta dans la Région de Tombouctou ; en repiquant (deux ou trois fois), les paysans suivent le retrait de l'eau ; la superficie annuelle varie entre 2 000 et 10 000 ha, et les rendements entre 700 et 2 t ha^{-1}.

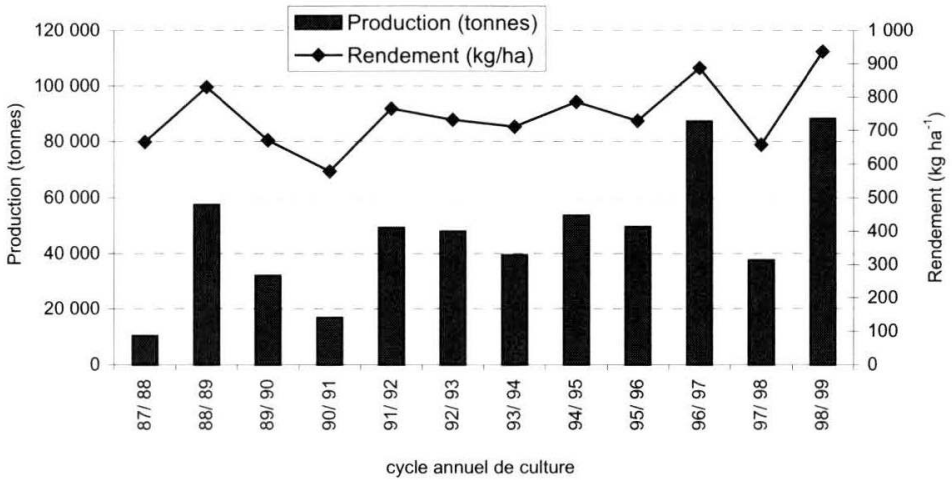


Figure 1. Production (en tonnes) et rendement (kg ha^{-1}) de riz à submersion libre dans la région de Mopti. Source : DRAMR.

Méthodologie

7 Sur la base de la carte « Communication et marchés » de Poncet et Troubat (1994) et de nos enquêtes dans le delta en novembre 1998 et janvier 1999 (Kuper et Maïga, 2000), 16 marchés ont été identifiés pour le suivi de la commercialisation du riz. Cet échantillon couvre l'ensemble du delta (fig. 2), entre les grandes plaines de production dans le Sud (Ténenkou, Moura, Diondiori, Djenné, Konna), les marchés situés sur des carrefours fluviaux ou routiers (Diafarabé, Kouakourou, Attara) et les zones déficitaires (Youvarou, Toguéré Koumbé, Niafounké, Tonka). A Mopti, capitale commerciale du delta, les marchés ont tous été enquêtés.

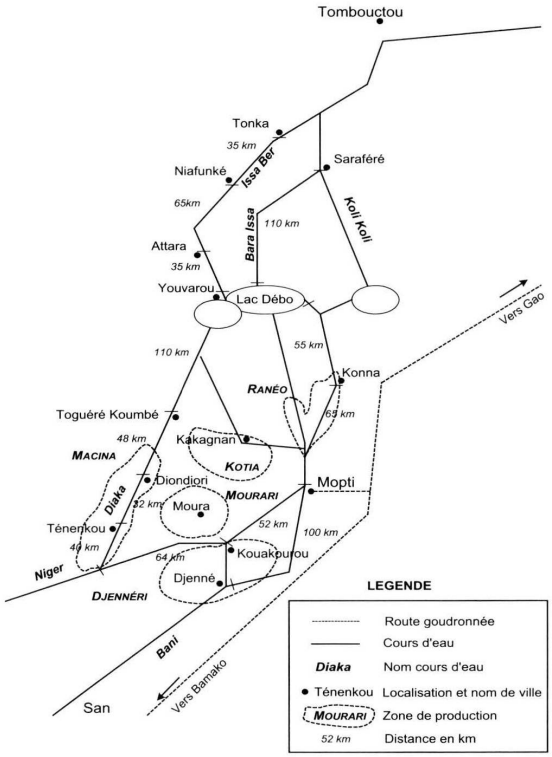


Figure 2. Schéma des axes de transport fluviaux et routiers entre les différents marchés de riz traditionnel. Source : Kuper et Maïga, 2000.

8 Nous avons fait la distinction entre le paddy (*houlbo* en langue peule) et le riz décortiqué (*ningou*), parce que ce sont deux filières relativement indépendantes. A Mopti, il existe un marché exclusivement destiné au paddy, ainsi qu'un marché de riz décortiqué. Mopti-Digue est sans doute le marché de riz traditionnel le plus important du delta avec 8 grossistes (boutiquiers), chacun avec son propre réseau d'approvisionnement et de vente. Ces boutiques commercialisent également du riz *O. saliva* et des céréales sèches. Les marchés de Yougouyougou et de Daguéré Simo (à Mopti) se sont respectivement spécialisés dans le *houlbo* et le *ningou.* Ils se trouvent tous les deux sur le port près des grandes pirogues de transport. Ces marchés ont été suivis du 7 janvier au 5 février 1999 pour interroger les commerçants, producteurs et consommateurs, et faire un état des lieux de la commercialisation du riz à travers des enquêtes informelles et au moyen d'un questionnaire spécifique (Kuper et Maïga, 2000). Des observateurs locaux ont été recrutés sur tous ces marchés pour suivre le prix du riz de janvier à mai 1999. Une deuxième mission a été effectuée du 26 avril au 28 mai 1999 pour récupérer les fiches remplies par ces observateurs et pour obtenir leurs commentaires sur les résultats de la première enquête. Nous avons continué le suivi des prix jusqu'au 15 novembre pour les marchés de riz de Mopti et de Konna (fig. 2).

Organisation de la commercialisation du riz

Fonctionnement et caractérisation des marchés

9 La principale fonction d'un marché de riz est de faire rencontrer producteurs, commerçants et consommateurs, et comme le dit Gallais (1984), quand il définit le

commerce dans le delta : « il s'agit très clairement avant toute chose d'une fonction de relais et d'entrepôt… ». Les différents marchés qui ont été inventoriés se différencient en fonction de la production de riz dans les environs, de leur accessibilité pour les commerçants et du nombre de consommateurs. Le marché de Ténenkou, par exemple, est un *marché de producteurs* avec une offre très importante, peu de demande locale et une tendance à faire transiter le riz vers d'autres marchés (Toguéré Koumbé, Nampala, Léré). Le marché de Toguéré Koumbé est un exemple de *marché de consommation.* Les commerçants s'y rendent pour vendre leur riz aux consommateurs. La production a échoué en 1998/99 dans cette commune et la forte demande locale pour des variétés de riz traditionnel est donc satisfaite par d'autres marchés. Un marché peut donc changer d'une année à l'autre de vocation. Le marché de Kouakourou est un exemple de *marché de transit et de regroupement,* même si c'est aussi un marché de consommation, en raison de sa localisation près des zones de production (dans le Mourari, fig. 2) et par son accessibilité (à 50 km de Mopti sur le Niger). L'attraction d'un marché de riz est aussi liée à la présence d'autres articles qui peuvent intéresser les vendeurs de riz (condiments, vêtements, etc.).

10 La structuration des marchés du delta est au premier abord difficile à comprendre. Commençons par identifier les différents acteurs :

- les *producteurs* (hommes ou femmes) qui viennent vendre leur houlbo et ningou ;
- les *soda sotta* (litt. [achat/vente] en peul), commerçants intermédiaires et ambulants ;
- les *étalagistes,* commerçants sans installation en dur mais avec un emplacement précis ;
- les *boutiquiers,* installés dans un magasin en dur ou en tôle, vente/achat en gros et au détail ;
- les *dion sawal* (litt. [propriétaires du sawal], souvent héréditaires) sont installés sur les points de vente de houlbo et mesurent les quantités de paddy apportées par les producteurs ;
- les *migrants,* main d'œuvre agricole payée en nature, revendent du riz pour obtenir une liquidité ;
- les *consommateurs,* surtout intéressés par le ningou et les produits non-céréaliers.

11 L'organisation du marché n'est pas du tout la même pour le houlbo et pour le ningou. En ce qui concerne la filière du houlbo, les producteurs, en général les hommes, vont aux points de dépôt/vente pour faire mesurer leur quantité de houlbo par les *dion sawal,* qui sont les maîtres de l'unité de mesure (le *sawal*). Ensuite, les producteurs indiquent leur prix et attendent la vente de leur riz aux commerçants ou aux consommateurs par les collecteurs. Les commerçants stockent le riz pour le revendre plus tard aux consommateurs ou aux commerçants sur d'autres marchés. Pendant la période de semis, il peut y avoir un retour du houlbo sur le marché par l'intermédiaire des commerçants locaux ou étrangers. Par contre, la filière du ningou est à la base une commercialisation par les femmes, qui font le décorticage et se présentent au marché aux points d'achat. Sur ces points d'achat, et contrairement au houlbo, les commerçants, souvent des femmes qui sont assises sur ces points, achètent le ningou directement aux femmes producteurs. Ensuite ces commerçants vendent le ningou à d'autres commerçants ou aux consommateurs. La différence fondamentale de la filière ningou par rapport à la filière houlbo est sa destination de consommation à court terme, voire immédiate, en partie à cause de la difficulté de stocker le ningou. Le ningou est donc soit vendu aux consommateurs locaux, soit aux commerçants qui le font transiter aux villes du delta, et notamment Mopti, pour la consommation en milieu urbain. En revanche, le houlbo est souvent stocké par les producteurs et les différents commerçants ruraux pour des raisons de spéculation.

12 Les filières du ningou et du houlbo sont donc bien distinctes et ne se trouvent pas au même endroit sur le marché. La vente du ningou peut être plus facilement identifiée car orientée vers le consommateur. La vente du houlbo se fait souvent sur le bord du fleuve ou dans les boutiques derrière le marché. Les points de vente du ningou et du houlbo sont des emplacements sur un marché attribués à des personnes bien identifiées. On remarque la multitude de points de vente de ningou (jusqu'à 100 par marché). Les quantités commercialisées par point de vente sont faibles (de 100 à 200 kg).

La circulation du riz traditionnel dans le delta : les réseaux

13 La circulation du riz traditionnel pour l'année 1998/1999 a été reconstituée en figure 3. Nous pouvons en tirer quelques grandes orientations sur la circulation du riz :

- il existe quatre grands centres de commercialisation du riz, coïncidant avec des zones de production : le Macina (marchés de Ténenkou, Diondiori, Toguéré Koumbé), le Djennéri (marchés de Djenné, Sofara, Matomo, Mougna et Yébé), le Ranéo (marchés de Konna, Mopti) et le Mourari (marchés de Moura et Kouakourou) ;
- il existe un flux important depuis les quatre zones de production vers l'extérieur du delta et notamment vers le nord (régions de Tombouctou et Gao) ; les zones de Macina et de Ranéo approvisionnent directement le nord, les autres zones passent par le marché de Mopti ;
- Mopti joue un rôle important, surtout pour les cercles de Mopti, de Djenné et de Mourari, et ponctuellement pour le Macina ; Mopti est un grand centre consommateur de riz traditionnel, mais fonctionne également comme centre de stockage et de transit vers l'est et surtout le nord ;
- il existe des parcours privilégiés des commerçants ambulants dans les différentes zones commerciales du delta (déjà noté par Rey et Salamanta, 1994) : par exemple, dans la zone du Diaka, ils fréquentent successivement les marchés de Toguéré Koumbé (le samedi), de Diafarabé (le lundi), de Diondiori (le mardi) et de Ténenkou (le jeudi) ;
- la mauvaise récolte dans la région de Tombouctou a encouragé des commerçants à acheter du riz dans le Macina et à Mopti pour le vendre sur les marchés du Nord : une partie de l'approvisionnement de ces marchés vient des jeunes du Nord qui font la récolte dans le Macina.

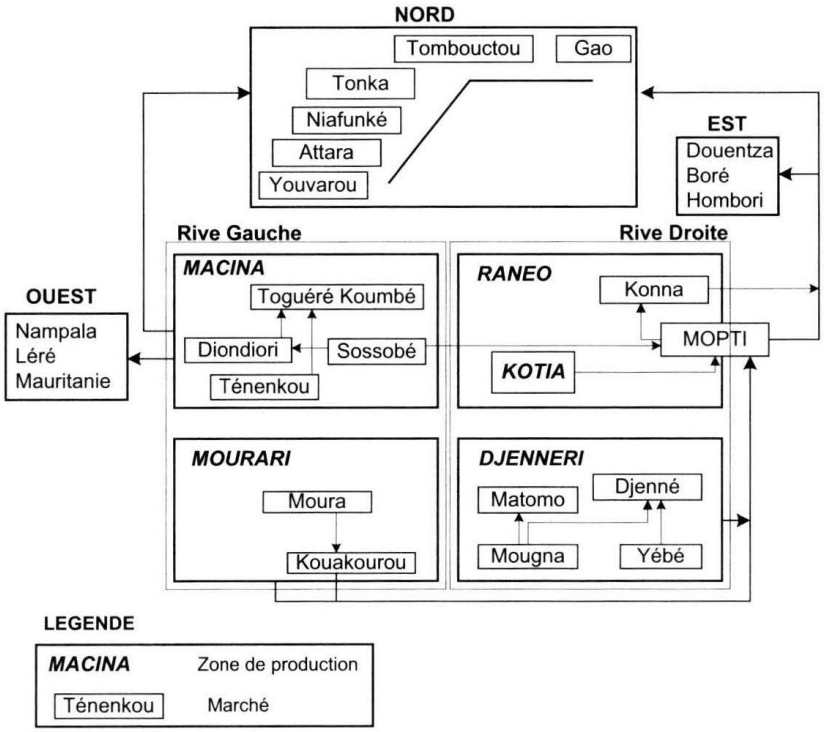


Figure 3. La circulation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger lors de l'année 1998/1999. Source : Kuper et Maïga, 2000.

14 Les transactions entre les différents marchés sont d'une complexité considérable, due à plusieurs raisons : (1) le grand nombre d'intervenants, (2) la variabilité du nombre d'intervenants s'adaptant aux fluctuations de l'offre et de la demande dans l'année, (3) le grand nombre d'intervenants sans lieu d'achat et de vente en dur (producteurs, *soda sotta,* étalagistes), (4) l'absence de contrats. Cependant, il existe bien une certaine logique dans l'organisation de la commercialisation du riz traditionnel. Pour cerner cette logique on peut faire appel aux travaux théoriques sur *l'économie des conventions,* développée pour « intégrer l'existence de règles de conduite conventionnelles dans l'analyse des comportements économiques » (Dupressoir, 1998). Dupressoir (*ibid.*), qui a utilisé cette théorie pour analyser les marchés de riz de Bamako, explique que les conventions dans un environnement d'incertitude ont pour but d'établir des règles de conduite auxquelles peuvent se référer les acteurs pour prendre des décisions ou résoudre des problèmes. Ces conventions, définies à travers des réseaux de commercialisation, forment donc un cadre commun structurant les marchés avec un statut collectif. Rey et Salamanta (1994), qui ont étudié la commercialisation des engins de pêche dans le delta, confirment le cadre structurant des réseaux : « la structure des flux internes au delta central du Niger témoigne de la superposition d'un commerce par réseaux et par relais ». Il existe en effet plusieurs réseaux d'approvisionnement et de vente, structurant des marchés qui au premier abord semblent être atomisés. Ces réseaux sont souvent composés de membres d'une même famille ou de gens du même village d'origine. Les boutiquiers de Mopti ont un marché privilégié d'approvisionnement et de vente bien connu des autres acteurs du marché : un commerçant ambulant de Djenné vendra son riz au boutiquier avec qui il a

des liens de parenté et non au commerçant lui offrant le meilleur prix. L'existence de ces réseaux a plusieurs avantages pour leurs membres :

- ils bénéficient d'un crédit informel : l'étalagiste confie le riz à un *soda sotta,* qui le confie au grossiste qui le vend pour lui, l'argent fait le cycle inverse ; chaque intervenant paie son fournisseur une fois qu'il a lui-même vendu la marchandise ;
- le réseau est basé sur la confiance (litt. « conventions ») : un intervenant dans un réseau connaît les autres commerçants et sait jusqu'où il peut leur faire confiance ; ceci explique le recrutement privilégié des membres de la famille, le réseau remplace donc la notion occidentale de contrat ;
- il y a une circulation d'information dans le réseau : souvent les membres d'un réseau sont impliqués dans plusieurs filières de commerces, s'adaptant aux opportunités de l'offre et de la demande des produits ; la circulation de l'information peut assurer une réponse plus rapide à ces occasions, surtout s'il y a des membres du réseau sur place.

L'intégration des marchés

15 La connaissance du degré d'intégration des marchés est important pour analyser l'impact des politiques économiques sur l'ensemble des marchés et pour assurer l'efficacité de différentes mesures d'un gouvernement (Goletti et Christina-Tsigas, 1995), qui veut promouvoir, par exemple, une certaine équité de prix (accès pour tous à un prix comparable). Une faible intégration entre deux marchés, c'est-à-dire le prix sur le marché A ne suit pas celui de marché B, peut être due à une infrastructure défaillante (routes, marchés, crédits), des conventions entre commerçants (monopole, oligopole...) ou un flux d'information peu performant. Un diagnostic des causes de non-intégration peut réorienter les mesures économiques d'un gouvernement.

16 Un indicateur classique pour quantifier l'intégration de deux marchés est le coefficient de corrélation entre les prix pratiqués aux différents marchés. Nous avons effectué une corrélation avec des prix mensuels moyens de vente, obtenus de l'Observatoire des marchés agricoles (OMA). Nous définissons *l'indice d'intégration* comme le coefficient de corrélation (R^2) d'une régression linéaire entre les prix de deux marchés différents (tableau 1).

Tableau 1. Analyse de l'intégration des marchés de riz entre Mopti, Bamako et Gao (riz DP : riz en provenance des décortiqueuses privées).

Produit A	Marché A	Produit B	Marché B	Indice d'intégration
riz rouge étuvé	Mopti	riz rouge étuvé	Bamako	0,37
riz rouge étuvé	Mopti	riz DP	Mopti	0,69
riz DP	Mopti	riz DP	Bamako	0,84
riz rouge étuvé	Bamako	riz DP	Bamako	0,80
riz rouge étuvé	Mopti	riz rouge étuvé	Gao	0,89

Source : Observatoire des marchés agricoles (données mensuelles de février 1998 à mars 1999).

17 Il y a un faible indice d'intégration des marchés de Bamako et de Mopti en ce qui concerne le riz traditionnel (dit « riz rouge étuvé »). En effet, peu de riz traditionnel est acheminé à Bamako, où le prix du riz traditionnel s'aligne donc davantage sur le riz blanc avec un indice d'intégration de 0,8. En revanche, les marchés de Mopti et de Gao

paraissent bien intégrés avec un indice d'intégration proche de 0,9. La filière riz blanc (*O. sativa*) est beaucoup mieux intégrée : le tableau 1 donne l'exemple du riz en provenance des décortiqueuses privées (DP) montrant un coefficient de corrélation de 0,84 entre les marchés de Mopti et de Bamako. Le tableau 2 donne les indices d'intégration pour les marchés de riz traditionnel. Il met en évidence un indice d'intégration élevé entre le marché de gros et le marché de détail de ningou à Mopti (0,83) ; par contre, les marchés de houlbo et ningou de Mopti ne sont pas très bien intégrés. En effet, ces deux filières sont indépendantes, même si le houlbo peut être transformé en ningou. L'indice d'intégration des marchés de houlbo de Mopti et Konna n'est également pas très élevé, malgré la faible distance entre ces deux villes (65 km) et l'existence d'une route goudronnée.

Tableau 2. Analyse de l'intégration des marchés de riz traditionnel entre Mopti et Konna.

Produit A	Marché A	Produit B	Marché B	Indice d'intégration	Nombre d'observations
riz *ningou*	Mopti Digue	riz *ningou*	Mopti Danguéré Simo	0,83	120
riz *ningou*	Mopti Digue	riz *houlbo*	Mopti Yougouyougou	0,56	40
riz *houlbo*	Konna	riz *houlbo*	Mopti Yougouyougou	0,63	32

Source : Kuper et Maïga, 2000 (données hebdomadaires de janvier à novembre 1999).

18 Les données disponibles pour les autres marchés du delta ne sont pas d'une durée suffisante pour faire une analyse d'intégration satisfaisante (nombre d'observations hebdomadaires « de 10 à 16). Cependant leur analyse donne quelques résultats intéressants. D'une part, l'intégration entre le marché de vente et le marché d'approvisionnement est manifestement bon, avec un indice d'intégration de 0,90 (pour n = 10) entre les prix d'un commerçant à Mopti et le marché de Djenné pour le ningou : le commerçant est originaire de Djenné et s'approvisionne dans le cercle de Djenné, ce qui explique cette valeur élevée. En revanche, l'indice d'intégration entre ce même commerçant et le marché de Konna donne une valeur de 0,02 (n = 10) : en effet, il n'a pas de relation commerciale avec Konna. Par ailleurs, on note que les marchés de houlbo à proximité l'un de l'autre avec un accès facile soit par voie fluviale, soit par la route affichent des indices d'intégration relativement élevés. C'est le cas pour Ténenkou et Diondiori (0,59 pour n = 10), pour Toguéré Koumbé et Youvarou (0,62 pour 13 observations), pour Attara et Niafunké (0,84 pour n = 14) et pour Ténenkou et Attara (0,57 pour n = 13). En revanche, Toguéré Koumbé et Youvarou ne semblent être pas du tout intégrés avec les autres marchés de la rive gauche.

19 L'intégration des marchés à l'intérieur du delta et entre ces marchés et Mopti est donc très hétérogène, mais en général relativement faible. On peut attribuer cela aux difficultés d'accès et de communication, et aux conventions entre les commerçants. A titre d'exemple, l'écart de prix du houlbo entre Mopti et Youvarou varie entre 5 et 45 F CFA par kg de janvier à mars 1999.

Évolution en 1999 des marchés de riz traditionnel

Les prix

20 Les prix du riz traditionnel varient en fonction de la localisation du marché, de la période de l'année, du type de riz et des conventions entre acheteurs et vendeurs. Les prix moyens observés sur les marchés du delta intérieur du Niger de janvier à avril 1999 sont représentés sur la figure 4. Le prix moyen de vente aux consommateurs sur les marchés est de 190 F CFA kg^{-1} pour le riz décortiqué (ningou) et de 125 F CFA kg^{-1} pour le paddy (houlbo). Le prix moyen d'achat des détaillants est de respectivement 180 et 110 F CFA kg^{-1}. La marge moyenne représente donc 10 F CFA kg^{-1} pour le riz décortiqué et 15 F CFA kg^{-1} pour le paddy. Le prix en gros du riz décortiqué (à Mopti-Digue) est en moyenne de 10 F CFA kg^{-1} inférieur au prix de détail (à Mopti Danguéré Simo).

21 Les marchés du paddy (houlbo) sont le domaine des commerçants, qui achètent le paddy des producteurs, et ajoutent à chaque transaction une marge. Ainsi, les prix sont-ils les moins élevés sur les marchés dans les zones de production (Diondiori, Ténenkou) avec un prix moyen de 95 F CFA kg^{-1} (janvier-avril 1999). Sur les marchés directement approvisionnés (Mopti, Toguéré Koumbé, Attara) par ces marchés dits de production, le prix moyen (sur la même période) s'élève à 125 F CFA kg^{-1}. Les prix les plus élevés se trouvent sur les marchés situés dans des zones déficitaires (fig. 4), approvisionnés par Mopti avec un prix moyen de 140 F CFA kg^{-1} (Niafounké, Saraféré, Youvarou).

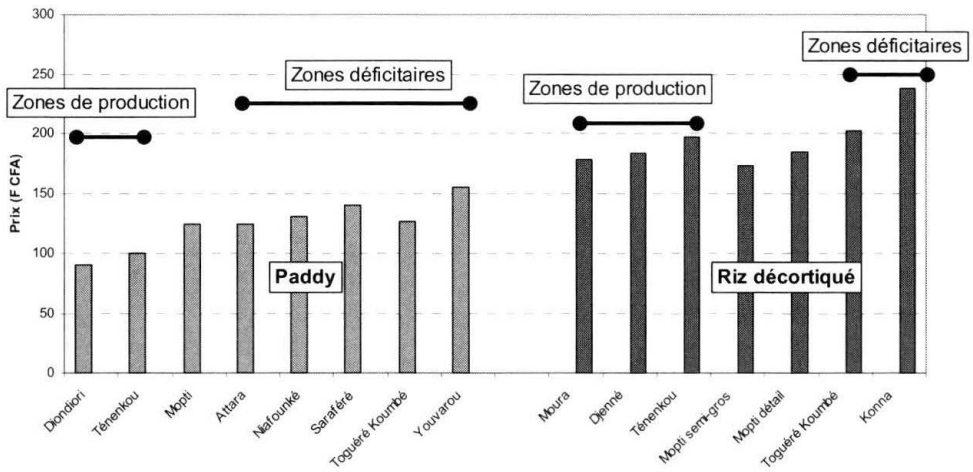


Figure 4. Prix de vente du riz traditionnel sur les marchés du delta intérieur du Niger, moyennes de janvier à avril 1999.

22 La logique des prix du riz décortiqué est beaucoup plus locale, parce que les marchés du *ningou* sont très orientés vers le consommateur. Les commerçants sur un marché donné fixent un prix de référence pour éviter une compétition et une baisse de prix. Ainsi, le prix du riz décortiqué sur le marché bien organisé de Djenné (pourtant situé dans une zone de production très importante) est-il supérieur au prix pratiqué à Mopti. Le mécanisme du marché – le prix résultant de l'offre et de la demande – ne fonctionne donc que partiellement.

23 L'évolution annuelle des prix de gros du riz décortiqué monte à partir de janvier à cause d'une pénurie sur le marché (fig. 5). Le prix du semi-gros a descendu en mars à cause de la

fête du ramadan : l'offre est importante parce que les producteurs et commerçants sont pressés de vendre du riz pour obtenir des liquidités pour faire face aux dépenses de la fête. En revanche, les prix à la consommation n'ont pas connu de baisse. Pendant la période de soudure (mai-août), les prix du ningou sont très élevés, les producteurs et les commerçants à l'intérieur du delta acheminent régulièrement du riz traditionnel vers Mopti. A partir de septembre, avec les premières récoltes de céréales, les prix commencent à baisser pour atteindre le niveau le plus bas fin octobre. Les prix montent mi-novembre à l'approche de la grande saison de pêche de décrue, quand les pêcheurs, réputés être de grands consommateurs de riz traditionnel, s'approvisionnent.

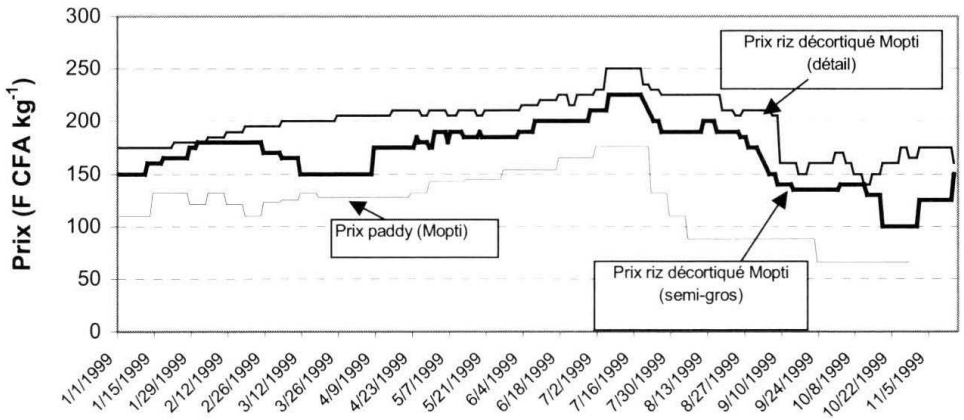


Figure 5. Prix de vente (en F CFA par kg) du riz traditionnel sur les marchés de Mopti (paddy = houbo ; riz décortiqué = ningou).

24 Les marges des commerçants à Mopti ne changent guère pendant l'année. Même pendant la période de soudure, les marges fluctuent autour de 10 F CFA kg^{-1}. Ces commerçants ne stockent pratiquement pas de riz, état mis en évidence par la régularité d'achat des commerçants. Une hausse dans les ventes des grossistes traduit donc un acheminement plus important depuis les zones de production. La connaissance de la formation du prix et des modes d'acheminement du riz traditionnel dans le delta permet de suivre le flux de commerce sur les différentes étapes par les prix et les coûts de transaction. Aussi dans le tableau 3, nous proposons une analyse de la filière paddy (houlbo) sur un trajet allant de Diondiori à Youwarou, via Mopti. Les marges des différents intervenants dans la filière paddy sont tout à fait comparables et assez élevées, *i.e.* 10 à 15 F CFA kg^{-1}. Ainsi, le prix de vente du paddy, qui est de 90 F CFA kg^{-1} dans la zone de production, s'élève à 125 F CFA kg^{-1} à Mopti et 155 F CFA kg^{-1} à Youvarou, soit une augmentation de plus de 70 % !

Tableau 3. La filière paddy de Diondori à Youwarou : coûts de transaction et prix (en F CFA par kg), moyennes pour janvier-avril 1999. Les prix et coûts reconstitués sont indiqués entre parenthèses.

Rubrique	Acteur	Marché	Produit	Coût de transaction F CFA kg^{-1}	Prix F CFA kg^{-1}
Vente producteurs	producteur	rural	paddy		(87,3)
Achat détail	étalagiste	Diondiori	paddy	3 % (nature)	90
Transport marché rural – Mopti	sôda sotta	Diondiori	paddy	10	(100)
Vente sôda sotta	sôda sotta	Mopti	paddy	10	110
Achat grossiste Mopti	grossiste	Mopti	paddy		110
Vente grossiste Mopti	grossiste	Mopti	paddy	15	125
Transport Mopti – Marché rural	sôda sotta	Youvarou	paddy	15	
Achat détail	sôda sotta	Youvarou	paddy		(140)
Vente détail	sôda sotta	Youvarou	paddy	15	155

25 La filière riz décortiqué (ou ningou) a été analysée sur le même trajet allant de Diondiori à Youvarou *via* Mopti (tableau 4). Les marges des commerçants en brousse sont beaucoup plus importantes qu'à Mopti : le même riz qui est vendu aux commerçants de Mopti pour un prix qui varie entre 165 et 174 F CFA kg^{-1} est commercialisé sur le marché rural pour un prix moyen de 200 F CFA kg^{-1}. Les commerçants profitent, sans doute, de l'enclavement des marchés ruraux pour augmenter les prix. Le tableau 4 montre également l'importante marge liée au décorticage, qui varie entre 25 et 35 F CFA kg^{-1}, en supposant un ratio de transformation de l'ordre de 70 %. Si le ratio descend à 60 %, la marge tombe à 5-15 F CFA kg^{-1}. Le prix producteur pour cet exemple s'élève à 125 F CFA kg^{-1} : 87,3 F CFA kg^{-1} pour un kg de paddy multiplié par un taux de transformation en riz décortiqué de 70 %. Le prix à la consommation d'un kilogramme de riz décortiqué s'élève alors à 184 F CFA kg^{-1} et le ratio prix producteur sur prix consommateur est de 0,68. A titre de comparaison, Mariko *et al.* (1999) donnent une valeur de 0,76 du ratio prix producteur / prix consommateur pour le riz de l'Office du Niger (période 1995-1997). Le ratio est donc plus favorable pour les producteurs de l'Office du Niger, probablement parce qu'ils sont mieux desservis par des routes goudronnées et des pistes permettant un plus faible nombre d'intermédiaires.

Tableau 4. La filière riz décortiqué (riz déc.) de Diondori à Youwarou : coûts de transaction et prix (en F CFA par kg), moyennes pour janvier-avril 1999. Les prix et coûts reconstitués sont indiqués entre parenthèses.

Rubrique	Acteur	Marché	Produit	Coût de transaction F CFA kg^{-1}	Prix F CFA kg^{-1}
Achat détail	étalagiste	Diondiori	paddy		90
Décorticage à 70%	sôda sotta	Diondiori	paddy	26,4-34,4	(115-125)
Achat marché rural	sôda sotta	Diondiori	riz déc.		(155-164)
Vente marché rural	sôda sotta	Diondiori	riz déc.	(36-45)	200
Transport marché rural - Mopti	sôda sotta	Diondiori	riz déc.	10	
Achat grossiste Mopti	grossiste	Mopti	riz déc.		165
Vente grossiste Mopti	grossiste	Mopti	riz déc.	8	173
Achat détail	étalagiste	Mopti	riz déc.		174
Vente détail (prix à la consommation)	étalagiste	Mopti	riz déc.	10	184

Les quantités commercialisées

26 Selon nos interlocuteurs, le volume d'achat égale le volume de vente : il n'y a guère de stockage. La figure 6 représentant le volume d'achat d'un grossiste à Mopti indique que les grossistes de Mopti font l'essentiel de leur commerce pendant la période de soudure, *i.e.* de juin à septembre (70 %). Entre mai et octobre, ils font même 85 % de leur volume d'achat. Nous pouvons estimer le volume de vente annuel de riz décortiqué pour le grossiste de Mopti, que nous avons suivi, à 475 tonnes. En admettant que les huit grossistes commercialisent les mêmes quantités, le volume de vente annuel de riz décortiqué des grossistes serait de l'ordre de 4 000 tonnes, *i.e.* moins de 4 % de la production annuelle de riz traditionnel dans le delta ! Au volume commercialisé par les grossistes, il faut bien sûr ajouter le volume du marché Danguéré Simo, car ce marché a une filière d'approvisionnement et de vente séparée de celle de Mopti-Digue. Nous estimons alors le volume annuel commercialisé sur ce marché à environ 200 à 250 tonnes (Kuper et Maïga, *ibid.*).

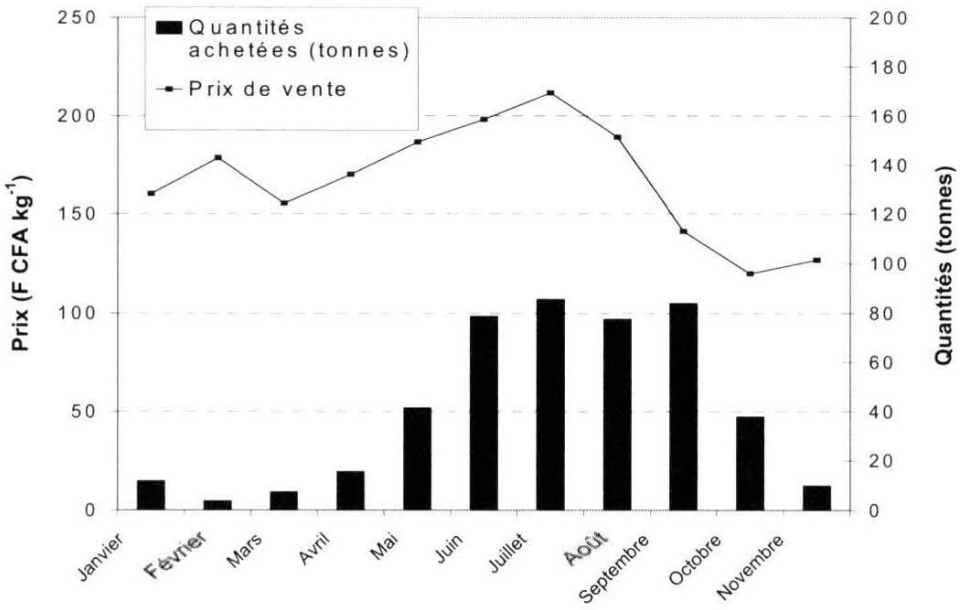


Figure 6. Évolution mensuelle du prix de vente (en F CFA par kg) du riz décortiqué traditionnel et des quantités achetées par un des 8 boutiquiers sur le marché de Mopti-Digue (vente en gros).

27 Les quantités de paddy qui passent par Mopti semblent être très inférieures à celles du riz décortiqué. En effet, un des trois commerçants de paddy a commercialisé 38,8 tonnes de riz dans la période avril-octobre 1999. En extrapolant sur l'année et pour l'ensemble des commerçants, nous arrivons à un volume annuel commercialisé d'environ 150 tonnes seulement.

28 Il est plus difficile d'estimer les quantités commercialisées de riz décortiqué et de paddy sur les marchés à l'intérieur du delta, à cause du caractère atomisé des marchés. Nous disposons de quelques observations ponctuelles sur ces marchés, mais elles sont insuffisantes pour déterminer la quantité de riz commercialisée. Cependant, par la détermination du nombre de points de vente et à partir de nos observations sur les quantités commercialisées sur les différents marchés en janvier 1999, une estimation de la quantité hebdomadaire commercialisée en janvier 1999 est possible (Kuper et Maïga, *ibid.*). On trouve ainsi que la quantité hebdomadaire commercialisée s'élèverait à environ 16 tonnes pour le paddy et 59 tonnes pour le riz décortiqué. Mais attention, la commercialisation du paddy est peu transparente et est donc difficile à estimer. Aussi la quantité de paddy commercialisée estimée semble donc une sous-estimation du volume vendu réel, car notamment nous n'avons pas pu enquêter les commerçants de paddy à Moura, Mopti-Digue, Kouakourou, Diafarabé et Djenné. De plus, par coïncidence, nous avons pu déterminer le volume total des ventes de paddy à Toguéré Koumbé le 16 janvier 1999, qui était stocké en attendant des moyens de transport. Ce total s'élevait à 105 sacs de 80 kg, soit environ 8 400 kg. Cette quantité est presque quatre fois supérieures à notre estimation.

29 A partir de ces estimations et de nos résultats de l'analyse du volume de vente sur les marchés de Mopti, le taux de commercialisation dans le delta intérieur du Niger serait de l'ordre de 10 %, dont la moitié passe par Mopti. Il faut souligner qu'une partie non négligeable de la production de riz est troquée par les producteurs pour obtenir du lait, du poisson et d'autres nécessités. Cependant, il est clair que la plus grande partie de la production de riz traditionnel est autoconsommée par les ménages des producteurs.

Enfin, il est remarquable que ce faible taux de commercialisation du riz traditionnel s'oppose à celui de la filière poisson, dont le taux de commercialisation serait supérieur à 65 % (Weigel et Stomal, 1994).

30 McIntire (1981) indique qu'il y aurait en 1975 moins de 20 kg de riz disponible par *capita* par an au Mali. Dans une étude plus récente, Randolph (1995) estime la consommation de riz au Mali à 30 kg par *capita* par an pour la période 1985-1992, tandis que la consommation annuelle de mil et sorgho s'élève de 120 à 150 kg. On ne dispose pas de données particulières pour le delta intérieur du Niger, la population de presque 900 000 personnes selon le recensement administratif de 1996 (Primature, 1997). Si on prend une production de 110 000 tonnes de riz (paddy) traditionnel en moyenne, en supposant que l'ensemble de la production est consommé dans le delta, la consommation de riz serait de l'ordre de 80 kg par *capita* par an, ce qui concorde avec l'estimation de McIntire (1981). Ce niveau de consommation est plus de deux fois supérieur à celui de la norme malienne.

Conclusion

31 Avec une production d'environ 110 000 tonnes de paddy par an, le riz traditionnel du delta intérieur du Niger (*Oryza glaberrima*) est en grande partie destiné à l'autoconsommation. Le riz traditionnel fournit donc les besoins en riz de presque 10 % de la population du Mali. Le niveau de consommation de riz dans le delta est de l'ordre de 80 à 100 kg an^{-1} par *capita,* ce qui est deux à trois fois plus élevé que la norme du Mali. Cependant, la production est très aléatoire, dépendant de la pluviosité et de l'ampleur de la crue, et passe d'une année à l'autre du simple au double. Les hommes du delta doivent donc gérer une incertitude importante quant à la contribution que le riz traditionnel peut apporter à l'alimentation de leurs ménages. Le niveau de commercialisation est estimé à seulement 10 % de la production annuelle, soit environ 10 000 tonnes, dont la plus grande partie sort des zones de production du delta (le Djennéri, le Macina, le Mourari et le Ranéo) vers le delta aval (Youwarou, Attara, Niafunké, Tonka) ou vers le nord (Douentza, Gao, Tombouctou, Mauritanie). Le commerce permet ainsi une redistribution du riz entre les zones excédentaires et les zones déficitaires du delta, Mopti étant la plaque tournante du commerce du riz traditionnel : presque la moitié du riz commercialisé annuellement (environ 4 500 tonnes) transite par Mopti, *via* huit grossistes installés à Mopti-Digue. C'est surtout le riz décortiqué qui passe par Mopti, les quantités de paddy sont plutôt faibles, environ 150 tonnes.

32 Le prix du riz traditionnel à Mopti est très variable selon la période de l'année. Le prix à la consommation varie de 140 F CFA kg^{-1} en octobre jusqu'à 250 F CFA kg^{-1} en juillet. Cette variation est beaucoup moins prononcée à Bamako avec des fluctuations de l'ordre de 50 F CFA kg^{-1} pour le riz provenant de décortiqueuses privées (riz DP). La hausse des prix pendant la période de soudure n'est pas due aux commerçants de Mopti qui maintiennent leur marge entre 5 et 10 F CFA kg^{-1} ; ces commerçants ne stockent guère de riz pour des raisons hygiéniques et commerciales. En effet, le riz décortiqué ne supporte pas très bien le stockage et les commerçants ne payent leurs fournisseurs qu'après avoir vendu le riz. Aussi le riz est vendu dans les jours qui suivent l'achat. C'est donc aux producteurs et commerçants de l'intérieur du delta, où le riz traditionnel est stocké sous forme de paddy, qu'incombent les retombées des hausses des prix. L'essentiel du commerce du riz à Mopti se fait entre mai et octobre pendant la période de soudure et non, comme on pourrait peut-être s'y attendre, après la récolte en novembre-décembre. Le commerce du riz

traditionnel s'insère ici dans une filière plus importante, celle des céréales (riz blanc, mil, sorgho, maïs), et le prix du riz traditionnel à Mopti a tendance à s'aligner sur le prix du riz blanc (*O. sauva*). Les producteurs attendent la hausse des prix pour vendre le riz traditionnel et obtenir une certaine liquidité pour faire face aux besoins familiaux.

33 L'intégration des marchés à l'intérieur du delta et entre ces marchés et Mopti est très hétérogène, mais en général relativement faible. Cette intégration dépend de la difficulté d'accès et de communication entre les marchés et des conventions entre les commerçants. Les marchés de Attara et Niafunké, par exemple, sont reliés par une route correcte et affichent un taux d'intégration des prix élevé. En revanche, les marchés de Toguéré Koumbé et Youwarou ne sont pas très accessibles et les prix sur ces marchés ne semblent pas du tout en relation avec ceux des autres marchés du delta. Un autre indicateur du faible taux d'intégration est l'existence de différentes unités de mesure sur les différents marchés (Kuper et Maïga, 2000). De plus, les marchés de riz traditionnel sont atomisés avec de nombreux acteurs et intermédiaires. Le nombre de commerçants avec emplacement fixe s'élève à environ 500 sur les 16 marchés que nous avons suivis, auquel il faut ajouter les commerçants forains. Il existe néanmoins d'importants réseaux d'approvisionnement, de transport et de vente, structurant ces marchés. La confiance engendrée par l'appartenance à un réseau permet aux commerçants de bénéficier d'un crédit informel et d'être informés des opportunités éventuelles sur les marchés. Et la compréhension du fonctionnement de ces marchés passe nécessairement par une analyse de ces réseaux.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Cissé S., Gosseye P. A., 1990 – *Compétition pour des ressources limitées : le cas de la cinquième région du Mali, rapport 1.* Centre des recherches agrobiologiques (Cabo), Wageningen, Pays-Bas, 170 p.

Demé M., 1999 – *Étude de l'impact de la libéralisation sur le fonctionnement des filières céréalières au Mali. Module n° 1 : analyse structurelle, institutionnelle et réglementaire.* Doc. Primature, Mission de décentralisation, Bamako.

Denon K., Vanslambrouck A., Konta A., Keita B. Sissoko A., Ahmadi N., 1995 – « Rizicultures sans maîtrise de l'eau dans le delta central du fleuve Niger, milieu naturel et humain ». *In : Quel avenir pour les rizicultures de l'Afrique de l'Ouest ?,* Colloque CNRS-Cirad, Bordeaux, 1995.

Dupressoir S., 1998 – *Conventions, modèles d'unités commerçantes et dynamique du marché du riz au Mali.* Thèse doct., EHESS, Paris, France.

Gallais J., 1984 – *Hommes du Sahel.* Flammarion, coll. Géographes.

Goletti F., Christina-Tsigas E., 1995 – "Analyzing market integration". *In* Scott G. (éd.) : *Prices, products and people,* Rienner publishers.

Kuper M., Maïga H., 2000 – *Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Études et rapports Gihrex, ER52, IRD, Bamako, Mali, 39 p.

Koffi Goli, 1976 – *Oryza glaberrima steud.,* instrument de sélection en Afrique de l'Ouest. *Agronomie tropicale,* 34 (3).

Mariko D., Chohin A., Kelly V., 1999 – *La filière riz à l'Office du Niger au Mali : une nouvelle dynamique depuis la dévaluation du F CFA.* Doc. IER-Insah, Bamako, Mali.

McIntire J., 1981 – "Rice in West Africa". *In* Pearson, Stryker, Humphreys (éd.), Stanford University Press, Californie, E.-U.

Poncet Y., Troubat J., 1994 – « La pêche dans le delta central du Niger, cartes ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala, volume 2, hors-texte.

Primature, 1997 – Recensement administratif de 1996. Doc. Mission de décentralisation, Bamako.

Randolph T. F., 1995 – "Rice demand in the Sahel". *In* Miézan K. M., Wopereis M. C. S., Dingkuhn M., Deckers J., Randolph T. F. (éd.) : *Irrigated rice in the Sahel : prospects for sustainable development,* Doc. Adrao, Bamako, Mali.

Rey H., Salamanta M., 1994 – « Commerce d'engins de pêche ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala, volume 1.

Viguier P., 1937 – *Riziculture indigène au Soudan français.* Paris, Masson, 3 tomes.

Weigel J. Y., Stomal B., 1994 – « Consommation, transformation et commercialisation du poisson ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala, volume 1.

NOTES

1. On remarque cependant la présence d'ouvrages à l'entrée des mares et des lacs, surtout dans la région de Tombouctou, pour réguler le remplissage et la vidange. Il existe aussi des actions pour le développement des petits périmètres irrigués.

AUTEURS

MARCEL KUPER

Hydraulicien. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France, kuper@cirad.fr

HAMADOUN MAÏGA

Géographe. IRD, BP 2528, Bamako, Mali, hmaiga@bamako.ird.ml

Partie 4. Interfaces d’échange de l’information environnementale

Interfaces d'échange de l'information environnementale

Pierre Morand

1 Les grands fleuves tropicaux et leurs vallées inondables sont le théâtre d'interactions intenses et souvent conflictuelles entre les multiples usages de l'eau et des ressources vivantes liées. Il est apparu notamment que la gestion « moderne » des flux d'eau pour la seule satisfaction des exigences de la production d'énergie hydroélectrique et/ou de l'agriculture intensive en grands périmètres irrigués s'accompagnait presque toujours d'impacts négatifs importants. Ceux-ci pèsent non seulement sur l'environnement mais aussi sur la qualité de vie (diffusion de maladies hydriques) et sur les revenus de certaines catégories de populations, notamment celles qui pratiquent des activités « traditionnelles » comme la pêche ou le pastoralisme. C'est sur la base de ce constat, et aussi grâce aux réactions des ONG et des populations elles-mêmes, que les décideurs et plus particulièrement les bailleurs de fonds se tournent aujourd'hui vers l'idée d'une « gestion intégrée » des grands bassins, incluant les milieux particulièrement riches et sensibles que sont les plaines inondables. Le but n'est cependant pas de restaurer le fonctionnement naturel des hydrosystèmes mais plutôt d'instaurer un mode de gestion admettant des objectifs et des critères multiples, et dont les contraintes et retombées soient acceptables par la majorité des groupes d'intérêt et des communautés d'usagers. La nouvelle perspective gestionnaire qui émerge de cette prise de conscience pourrait cependant vite se transformer en vœu pieux dès lors que les instruments nécessaires à sa mise en œuvre ne sont pas disponibles. Il est donc urgent de s'inquiéter de la définition et de la mise en place de tels instruments. Mais quels sont-ils au juste ?

2 Les plus importants sont de type institutionnel. En effet, pour que des décisions de gestion appropriées soient prises et appliquées, il faut que des instances et des services idoines existent et en aient la responsabilité. Les gouvernements démocratiques s'efforcent aujourd'hui de mettre en place de telles structures, généralement sur la base d'options participatives (notion de *co-gestion*) et sur fond de décentralisation des pouvoirs publics, l'ensemble étant fortement encouragé par les agences internationales. Cependant, pour que les structures de décision puissent fonctionner de façon efficace et argumentée, il est nécessaire qu'elles disposent d'informations fiables et objectives sur

l'état de l'environnement – incluant les tendances rétrospectives et les possibilités d'évolutions futures. Cette condition n'est en général pas satisfaite à l'heure actuelle, car la production d'information environnementale est dramatiquement mauvaise, dans le monde entier et plus particulièrement dans les pays en développement.

3 Conscientes de cette situation, des équipes de chercheurs en sciences de l'environnement et en sciences de l'information travaillent à la création d'outils de suivi, de diagnostic, de prospective et de communication. Quels sont ces outils et dans quelles conditions peuvent-ils devenir de vrais instruments au service d'une gestion intégrée de l'environnement et des ressources naturelles et, plus particulièrement, des ressources des grands bassins tropicaux et de leurs plaines inondables ? Ce sont ces questions qui vont ici retenir notre attention. Nous commencerons donc par montrer la diversité des « outils de l'information » qui sont aujourd'hui rendus disponibles par la recherche, en prenant appui sur le large échantillon de cas d'étude et d'expérience fournis par les auteurs de ce chapitre. Nous analyserons ensuite les conditions de la mise en œuvre opérationnelle de ces outils, en nous interrogeant sur ce qui permettrait leur utilisation effective pour l'aide à la prise de décision en matière de gestion des ressources naturelles et de l'environnement.

Une étagère bien fournie

4 Les outils dont il va être question ici partagent une même aspiration : celle de jouer un rôle *d'interface* d'échange de l'information environnementale. Ce rôle d'interface peut être considéré sous de multiples angles : il peut se situer entre la masse des données accumulées et les requêtes d'un utilisateur à la recherche d'informations ou bien entre les connaissances synthétisées sous forme de modèles et les questions posées par les gestionnaires. Il peut aussi permettre de confronter les connaissances et les souhaits des différents acteurs ou bien encore se donner pour objectif de favoriser la communication entre des institutions et des groupes d'intérêt autour d'une information mieux partagée. Mais au-delà de ce point commun apparent, les fonctions visées par ces outils de l'information sont bien différentes, comme nous allons le voir ci-après.

Des outils pour l'acquisition et le prétraitement des données et signaux

5 Dans le domaine des fonctions d'acquisition et de traitement primaire de l'information, il semble que le défi le plus difficile à relever ne soit plus aujourd'hui celui de la précision ou de la sensibilité mais plutôt celui de la robustesse et de la pérennité. Les humains s'y épuisent en effet dans des tâches répétitives et ingrates et ils ont donc besoin d'être soutenus par des outils, c'est-à-dire par des procédures et même, si possible, par des machines.

6 En prenant pour cas d'étude les images issues d'une couverture aérienne photographique du delta intérieur du Niger, Olivier Monga et Yveline Poncet montrent comment des algorithmes récemment mis au point par la recherche parviennent à réaliser une interprétation élémentaire mais automatique de formes visibles assez complexes ou irrégulières. Ceci permet « d'étiqueter » des espaces comme relevant de certains types de milieux (brousses ligneuses, mares) ou de certains types d'aménagement agricole (casiers

de périmètres irrigués). L'automatisation ouvre ici la voie à des mesures automatiques, donc aisément reproductibles d'une année sur l'autre, de l'occupation des sols.

7 A propos du même grand écosystème, Pierre Morand, Amaga Kodio et Tiéma Niaré décrivent les moyens et méthodes de collecte, d'archivage et de prétraitement des données utilisées dans le cadre d'un observatoire expérimental. Ils montrent comment l'utilisation d'un jeu de procédures et d'outils informatiques légers et autonomes s'est avérée constituer une solution évolutive et robuste, sans doute préférable à celle qui aurait consisté à recourir à la construction d'un système intégré dédié.

8 De leur côté, Marie Piron et Bruno Romagny s'inquiètent de la lourdeur et des coûts de maintenance des systèmes d'enquête, dont les interruptions ou les effondrements sont bien connus pour être préjudiciables, voire fatals, aux dispositifs producteurs d'information. Ils proposent de compléter ces systèmes par des procédures plus opportunistes. Celles-ci seraient basées sur la mise en œuvre d'outils automatiques d'exploration et d'exploitation du contenu de corpus d'information non dédiés, tels que les fichiers de clients ou de transactions entretenus par les grandes entreprises privées – une démarche appelée *data mining.* C'est ainsi qu'en acceptant de s'affranchir des critères habituels de la qualité statistique (laquelle implique normalement le contrôle de la représentativité des données), on parvient à s'approcher de solutions techniques et organisationnelles « soutenables ». Et cela pourrait constituer une voie d'avenir prometteuse pour les systèmes d'information des pays du Sud.

Des outils pour la compréhension des processus et l'exploration d'hypothèses

9 Lorsque les interactions entre société et environnement sont envisagées dans un cadre large et complexe (multiplicité des acteurs et/ou multiplicité des ressources, fluctuations externes, etc.), de multiples jeux d'hypothèses plus ou moins intriqués sont en concurrence pour expliquer les processus observés. Et il est clair qu'un tel écheveau ne peut alors être démêlé que par une démarche de formalisation poussée. La concrétisation d'une telle démarche passe de plus en plus souvent par la modélisation à base de systèmes multi-agents. Ces méthodes présentent en effet l'avantage de conduire à des simulations de grande puissance, indifférentes ou presque aux limites dimensionnelles qui handicapent les systèmes d'équations mathématiques.

10 C'est ainsi que Jean-Christophe Castella et ses collaborateurs ont développé, sur la base d'une plate-forme informatique existante (Cormas), un modèle multi-agents des dynamiques agraires des zones de montagne du fleuve Rouge (au Viêt-Nam). A l'aide de différents jeux de simulation réalisés grâce à ce modèle, ils montrent comment deux variables, la densité de main d'œuvre au sein de la famille et l'appartenance ethnique de celle-ci, ont vraisemblablement joué un rôle déterminant dans l'évolution des moyens de production familiaux au cours de la décennie 1980, qui a été marquée par la décollectivisation des terres. Bien que les comportements des agents soient formalisés par des règles très simples, le système parvient à générer des dynamiques complexes dont les orientations paraissent comparables à celles observées historiquement.

11 Utilisant des méthodes comparables, Sarah Feuillette, François Bousquet et Patrick Le Goulven s'intéressent à la gestion d'une nappe phréatique tunisienne mise à mal par une multiplication incontrôlée des puits. La représentation du système par un modèle multi-

agents basé sur des entités sociales (les exploitants), spatiales (nappes, parcelles) et passives (les puits) permet de simuler la dynamique d'apparition et d'abandon des puits sur plusieurs années. Les sorties de simulation sont présentées sous forme d'indicateurs (nombre de puits, profondeur de la nappe, nombre d'exploitants en faillite...), dont les évolutions respectives s'avèrent comparables à celles des mêmes indicateurs observés *in situ.* Ce résultat positif laisse penser que l'on est parvenu, grâce au modèle, à repérer les liens et variables « moteurs » de la dynamique du système. Et ceci permet d'entrevoir la possibilité d'une meilleure définition des interventions de gestion à venir.

Des outils pour la prospective, la formation et l'apprentissage de la gestion

12 Prolongeant ce genre de démarche, Marcel Kuper et ses collaborateurs ont développé un modèle de l'hydrosystème du delta intérieur du Niger, incluant les comportements de production et de mobilité de groupes d'usagers. Grâce à la mise au point précoce d'une représentation spatiale, le modèle est parvenu à jouer un rôle de creuset d'intégration des données et des connaissances des différentes disciplines, allant de l'hydrologie à la géographie en passant par l'halieutique et l'agronomie. Le modèle est doté d'une interface très ergonomique de visualisation des données et des sorties de simulations, ce qui facilite son utilisation comme support de discussion dans le cadre de réflexions d'experts ou de formations d'étudiants. On peut ainsi appréhender et discuter des effets possibles de variations hydroclimatiques, de l'accroissement du pouvoir de capture des engins de pêche ou bien encore de la construction d'un nouvel aménagement hydraulique en amont de la région considérée.

13 Olivier Barreteau et ses collaborateurs poussent encore plus loin cette philosophie d'utilisation du modèle : celui-ci devient un outil de stimulation de la capacité des usagers des ressources à prendre conscience de leurs intérêts individuels et collectifs ainsi que des implications de leurs comportements. A cette fin, ils ont conçu un « jeu de rôle » à partir des règles d'un modèle informatique multi-agents, et ils l'ont fait jouer par les acteurs concernés, en l'occurrence les riziculteurs d'un périmètre irrigué au Sénégal. Le fait que le jeu s'avère jouable et soit vite compris, discuté et adopté par les acteurs, constitue selon les auteurs une véritable validation de l'outil par « l'acceptabilité sociale ». Ceci apporte une contribution assez radicalement nouvelle à la définition des critères de légitimité du travail du modélisateur.

Des outils pour l'aide à la négociation et à la décision

14 Parce qu'ils intègrent des représentations dynamiques des comportements humains, les modèles présentés ci-dessus acceptent un certain niveau d'incertitude et ne peuvent donc pas conduire à des simulations réellement prédictives : seules les allures des processus simulés font sens, alors que les comparaisons strictes de valeurs obtenues au cours des différents scénarios simulés seront généralement de peu d'intérêt. Cette limitation n'est plus de mise avec des modèles moins inclusifs et davantage focalisés sur les processus du monde physique ou biologique. Si ces modèles sont correctement identifiés et paramétrés (ce qui suppose une phase de calibration puis de validation par rapport à des données observées), alors les valeurs obtenues en sortie de simulation seront reproductibles et

parfaitement comparables. Ceci ouvre la voie vers une utilisation plus directe du modèle dans l'aide à la négociation et à la décision.

15 C'est ainsi qu'en se concentrant sur les seuls phénomènes hydrauliques, Stéphanie Duvail et ses collaborateurs développent une démarche « modélisatrice » du bas-delta du fleuve Sénégal qui va jusqu'à la simulation des impacts de plans de gestion hydraulique sur les calendriers d'abondance de l'eau dans les différents milieux exploités. Le modèle parvient ainsi à jouer un rôle d'outil d'appui à l'émergence d'une gestion concertée, puisqu'il encourage les usagers des milieux et des ressources à s'entendre autour d'un plan de gestion de l'eau qui soit acceptable par tous. Les auteurs posent cependant la question des effets écologiques que pourrait comporter la reproduction à l'identique, d'année en année, de ce plan de gestion. Car ils rappellent que la variabilité inter-annuelle des conditions hydrauliques est un facteur essentiel du maintien de la richesse écologique (et notamment botanique) des plaines inondables. En soulevant ce problème, les auteurs touchent à l'un des défis majeurs posés par la gestion intégrée des zones inondables.

16 Ekasit Kositsakulchai et ses collaborateurs ont utilisé les méthodes de la dynamique des systèmes pour concevoir et développer un modèle de gestion des ressources en eau du bassin versant du Mae Klong (en Thaïlande). Les simulations tiennent compte de la variabilité des apports et permettent de simuler l'impact de différents schémas de gestion, imposés ou mis en œuvre par une série d'opérateurs, sur la satisfaction relative des besoins liés à cinq usages bien identifiés de l'eau dans la région. Le modèle, qui est pour l'instant un outil de recherche à vocation essentiellement exploratoire, paraît apte à fournir la base d'élaboration d'un outil opérationnel d'aide à la décision.

17 Mais modèle et aide à la décision n'impliquent pas nécessairement des outils sophistiqués. Après avoir démontré l'existence de corrélations empiriques très fortes entre l'intensité des crues affectant le delta intérieur du Niger et les captures réalisées lors des campagnes de pêche qui leur succèdent immédiatement, Raymond Laë et Gil Mahé proposent d'utiliser ces régressions simples pour fournir des prévisions non seulement aux gestionnaires mais surtout aux opérateurs diffus que sont les pêcheurs et commerçants de poissons et de filets. Ainsi précocement informés, ceux-ci seraient à même d'anticiper les choix d'investissement et de préparation de la campagne de pêche.

Des outils de stockage, partage, consultation et recomposition de l'information

18 Contrairement aux outils évoqués ci-dessus, qui sont tous dédiés à des fonctions particulières ou à la réalisation de missions très spécifiques, celui dont il va être question ici s'attaque à un défi plus large et d'intérêt général.

19 Il s'agit de la capacité à gérer de façon sûre et efficace les énormes quantités d'informations de toutes natures générées et utilisées au quotidien par les grandes organisations, telles que projets, observatoires ou entreprises. Les bases de données aspirent bien sûr à assumer une telle mission, mais elles apparaissent de plus en plus comme des solutions partielles, dédiées à des informations organisées selon des schémas bien particuliers. Patricia Dzéakou et ses collaborateurs tentent de dépasser ces limites et s'attaquent donc aux problèmes conceptuels et techniques posés par l'archivage, la circulation et la consultation assistée, proche ou distante, d'informations de toutes natures et de tous formats. Une solution de type infothèque est proposée, basée sur

l'utilisation du web, sur la reconnaissance du document comme « unité élémentaire d'information » et sur l'utilisation de l'interface d'écran comme outil privilégié de structuration de la recherche d'information aussi bien que de son résultat. Le prototype a été testé au sein du réseau de chercheurs travaillant sur le delta intérieur du Niger.

Vers une mise en œuvre des outils au sein d'un SIE

20 Parmi les types d'outils présentés ci-dessus, certains trouvent d'évidence leur pleine réalisation dans l'aide à l'amélioration des connaissances et à la formation des jeunes scientifiques, c'est-à-dire des futurs ingénieurs, enseignants ou chercheurs. Ces outils ont tout naturellement leur place dans les laboratoires et les universités. Mais d'autres outils prétendent pouvoir aider à la décision en matière de gestion de l'environnement et des ressources naturelles. Il se pose alors la question de leur transfert vers des structures utilisatrices intervenant dans le cadre d'une mission opérationnelle de gestion environnementale. Et il faut bien reconnaître que cette étape est aujourd'hui rarement franchie.

21 On peut s'interroger sur les raisons de ce constat assez général de défaillance dans la phase de déploiement effectif de ces outils au-delà du laboratoire originel et de la phase de prototype. Il nous semble qu'il existe au moins trois explications à cela.

22 La première explication tiendrait du simple bon sens : tous les outils ne sont pas également réussis et, par une sorte de processus de sélection darwinien, seuls quelques-uns parviennent à se développer et à se diffuser. La recherche n'aurait donc pas à rougir d'un faible taux d'adoption de ses produits : elle doit se contenter de continuer à travailler pour alimenter un *pool* permanent d'outils candidats, en espérant seulement que quelques-uns trouveront preneur auprès des services opérationnels. Ce point de vue « naturaliste » est sans doute en partie fondé, mais il ne permet pas d'envisager une quelconque amélioration de la situation.

23 La seconde explication est l'absence ou l'insuffisance de maturité des institutions des pays du Sud dans le domaine de la gestion de l'environnement et des ressources naturelles, particulièrement en ce qui concerne les eaux et les zones humides. De par leurs caractéristiques géographiques et « multi-usages », les zones humides suscitent en effet des conflits de compétence interministériels, ce qui ne facilite pas la mise en place d'institutions responsables. Cette immaturité institutionnelle explique la défaillance de la demande, qui ne laisse souvent connaître de besoins précis ni en termes d'information ni en termes d'outils. D'ailleurs, et pour les mêmes raisons, il n'existe que très peu de services techniques qui soient capables d'héberger, d'utiliser et de maintenir de façon durable de grandes masses d'information (bases de données) ou des outils de l'information dépassant un certain niveau de sophistication. Pour autant, les rares exceptions existantes, comme Agrhymet[1], (réseau agro-hydrométéorologique des pays du Cilss) qui concernent plutôt des domaines voisins mais autres que celui de la gestion des fleuves, laissent penser qu'il n'y a pas de fatalité à cette situation. Et sous la pression exercée par l'urgence croissante des problèmes environnementaux, les structures attendues vont sans doute émerger au cours de la prochaine décennie, probablement sous la tutelle des organes administratifs et politiques de gestion des grands bassins (cf. la partie 5).

24 La troisième explication du faible taux de transfert des outils relève davantage d'une incomplétude de l'offre, c'est-à-dire de la responsabilité de la recherche. En effet, les outils ou prototypes que les chercheurs proposent sont le plus souvent, comme nous l'avons vu, des « outils composants » qui, par leur nature même, se focalisent sur la résolution d'un petit sous-ensemble des nombreux défis relatifs à l'information environnementale et à son utilisation. De tels outils ne peuvent donc prendre sens et vie qu'une fois mis en œuvre au sein d'ensembles organisés d'opérations de collecte, de traitement et d'utilisation de l'information, en d'autres termes lorsqu'ils sont insérés dans de véritables *systèmes d'information sur l'environnement* (SIE). Or le développement harmonieux de tels systèmes, forcément complexes, ne peut se faire de façon spontanée : il doit suivre un ou des guides de construction.

25 Il nous semble donc indispensable que, au-delà de résultats de conception et de mise au point d'outils à vocation spécifique, la recherche soit à l'avenir capable de proposer des guides de recommandations portant sur les architectures et les démarches de mise en place des dispositifs de système d'information environnemental considérés en tant qu'ensembles organisés de fonctions et d'outils.

26 Parmi ces recommandations, l'une devra insister sur la nécessaire qualité de l'identification des fonctions et de l'usage attendus du ou des système(s) d'information. Il est clair que cette étape ne peut aller sans une analyse préalable des besoins des utilisateurs avérés ou potentiels. Or, de grands progrès méthodologiques restent à accomplir dans ce domaine. Il y a là, de toute évidence, un champ de travail pour la recherche en sciences de l'information et de l'environnement.

NOTES

1. Diouf M., Nonguierma A., Amani A., ce volume – « Expérience du centre Agrhymet pour le suivi de l'environnement au Sahel ». *In : partie* 5.

AUTEUR

PIERRE MORAND

Halieute. IRD, SIH-Ifremer, Av. Jean Monnet, 34200 Sète, France, morand@ird.fr

Techniques de vision par ordinateur appliquées à des images aériennes de zones inondables

Olivier Monga et Yveline Poncet

1 Les images sont des vecteurs importants d'information. Leur analyse permet aux acteurs de la décision en gestion de l'espace et en aménagement du territoire de localiser les zones d'intérêt et de suivre leur évolution au cours du temps. Les images de la Terre, en prises de vues verticales ou obliques, se caractérisent par la diversité des modalités d'enregistrement (aériennes, satellitales, multispectrales, radar) et par la masse considérable de données qu'elles représentent. La technologie des capteurs se développant sans cesse, ces deux caractéristiques que sont la multimodalité et la taille des données vont encore s'amplifier. Le problème se pose alors de l'automatisation – ou du moins de la mise en routine – de certaines tâches de repérage et de préparation des images à la phase d'interprétation intelligente. En effet, si l'opérateur humain reste le plus efficace pour l'extraction d'informations qualitatives et sémantiques, il est généralement peu performant pour l'extraction rapide d'informations quantitatives (mesures de superficies, dénombrements d'objets) et pour le traitement géométrique systématique des données (mosaïquage, recalage). Aujourd'hui, des outils de *vision par ordinateur* permettent de confier ces tâches fastidieuses et délicates à l'ordinateur, en réalisant sur les images des opérations d'extraction d'informations pertinentes, selon un mode automatique ou semi-automatique.

2 Dans le cadre du projet international « Simes »[1] dédié aux sciences de l'information appliquées à l'environnement, il nous a semblé intéressant de tester les possibilités de certains de ces outils récents sur des images du delta intérieur du Niger.

3 Parmi les informations collectées sur le delta intérieur du Niger figurent différents types d'images, à savoir, d'une part, des photographies de terrain prises au sol, à l'horizontale ou en oblique (*i.e.* depuis un point haut) et, d'autre part, des prises de vues aériennes, qui peuvent elles-mêmes être obliques ou bien verticales. Ces images sont destinées à fournir une vue ensembliste des milieux naturels et construits par l'homme, sous forme de *paysages.* L'organisation du paysage peut en effet être considérée comme un bon

indicateur de la dynamique du milieu. De façon opérationnelle, on peut dire que les images vont remplir deux fonctions : *illustrer* à des fins informatives et pédagogiques, puis constituer en elles-mêmes *des bases de données exhaustives,* à partir desquelles des informations peuvent être automatiquement extraites et traitées.

4 Les photographies aériennes numérisées et les données satellitales numériques sont généralement acquises et conservées pour servir cette deuxième fonction. C'est cet aspect que nous allons illustrer en prenant comme exemple l'extraction de thèmes paysagiques à partir d'images aériennes numérisées.

Démarche, matériel et objectifs expérimentaux

5 L'opération réalisée sur le delta malien consistait à transférer une expertise technique relative à la vision par ordinateur vers des applications scientifiques en géographie, halieutique, hydrologie, pédologie, elles-mêmes agissant comme autant de relais en direction des utilisateurs de l'information que sont les décideurs de l'aménagement et les opérateurs du développement. Ces derniers, on le sait, doivent tenir compte de la diversité géographique des espaces inondables et de leurs multiples modes d'exploitation.

6 La préparation du transfert d'expertise depuis la « vision par ordinateur » vers des applications a été effectuée à travers les étapes suivantes :

- expression des besoins des utilisateurs d'images ;
- identification des classes d'algorithmes de « vision par ordinateur » susceptibles d'être utiles ;
- détermination de bibliothèques de logiciels libres, récentes et mises à jour correspondant à ces classes ;
- sélection d'algorithmes pertinents par rapport aux besoins des utilisateurs ;
- test de ces algorithmes sur les images du projet.

7 Concernant le premier point, il s'avère que la demande des utilisateurs (au premier rang desquels figure la recherche scientifique) est de disposer d'outils permettant de traiter de grandes surfaces géographiques (le delta malien s'étend sur plus 30 000 km^2), c'est à dire un grand nombre d'images et de fichiers numériques, et/ou de traiter les mêmes espaces de façon récurrente si des enregistrements successifs dans le temps sont disponibles.

8 Les images traitées sont celles de la couverture aérienne d'une partie du bassin du fleuve Niger, enregistrée en 1973-1974 sous forme photochimique au 1/50 000 par l'Institut géographique national français (IGN). Ces images sont aujourd'hui disponibles sous forme numérisée, avec une résolution spatiale élémentaire correspondant à un mètre carré environ sur le terrain. C'est cette version numérique qui a été acquise par le projet Simes et qui est utilisée dans les expérimentations décrites ci-après.

9 La première expérimentation a porté sur le repérage de quatre thèmes d'occupation du sol caractéristiques des ressources naturelles présentes dans les zones inondables tropicales et de leurs exploitations. Certains aspects morphologiques de ces thèmes peuvent valablement être considérés comme indicateurs des dynamiques de ces ressources. Ces quatre thèmes sont :

- les aires cultivées en riz ;
- les aires inondées (avec ou sans végétation émergente) et les eaux libres (dépourvues de végétation émergente) ;
- les milieux temporairement émergés, à formations herbacées ;

- les milieux émergés en permanence, à formations végétales ligneuses (arborées, arbustives et buissonnantes).

10 Les deux premiers de ces thèmes sont directement liés à la présence de l'eau et peuvent donc être considérés comme des « indicateurs paysagiques » *a posteriori* de l'intensité de la crue annuelle. Nous montrons plus loin, à titre d'exemple, un résultat de traitement concernant les espaces cultivés en riz.

11 La seconde expérimentation a porté sur la réalisation de deux types de recalages géométriques :

- la juxtaposition d'images de zones différentes et connexes, toutes à prise de vue verticale, afin de restituer un espace géographique plus vaste que celui de chaque fichier pris séparément ;
- la superposition d'images concernant une même zone mais issues de points de vue différents, en l'occurrence une vue verticale et une vue oblique enregistrées à des dates différentes.

12 Ces deux expérimentations sont illustrées dans le présent article. Rappelons que l'un des objectifs généralement attendus de la vision par ordinateur est la construction de modèles numériques de terrain. Cet objectif est difficile à atteindre en zone inondable, par définition dépourvue de relief et dont les micro-reliefs ne sont pas restitués par la résolution spatiale des images stéréoscopiques couramment disponibles (photographies aériennes et satellite Spot[2]). Cet objectif n'a donc pas été inscrit dans le cadre du programme d'expérimentation.

Les algorithmes de vision par ordinateur

13 Les tâches correspondant aux expérimentations ci-dessus sont réalisées par deux catégories d'algorithmes (voir Horaud et Monga, 1995) :

- la *vision précoce* qui consiste à segmenter les images en zones définies par la distribution des niveaux de gris : détection de contours, extraction de points caractéristiques, partition en régions, segmentation des textures (voir par exemple Armande *et al.*, 1999) ;
- la *vision tridimensionnelle* qui consiste à extraire des informations en trois dimensions (x, y et altitude z) à partir d'images en deux dimensions ; les algorithmes de mosaïquage d'images les plus performants utilisent des méthodes directement issues de la vision tridimensionnelle.

14 Le projet Simes s'est tourné vers deux plateformes logicielles, *Megawave2*[3] et *Targetjunior*[4], qui intègrent de tels algorithmes. Ces deux plateformes en accès libre (codes sources compris) ont été développées par des partenaires du projet Simes (cas de *Targetjunior*) et par des laboratoires partenaires (*Megawave2*).

15 *Targetjunior* résulte d'une initiative prise dans les années 1990 par les laboratoires de recherche en vision par ordinateur de l'université d'Oxford (Royaume Uni), de l'Institut national de recherche en informatique et automatique (INRIA-France), de l'université de Louvain (Belgique) et de General electric (USA). Il a été utilisé et développé dans le cadre de plusieurs projets européens (*Esprit, Longterm research 23515, Inproofs*). Il est maintenu à l'université d'Oxford et à l'université de Louvain et constitue un outil complet, à la fois de démonstration, de développement et d'enseignement.

16 *Megawave2* a été développé depuis 1993 par l'équipe de recherche dirigé par J. M. Morel (Ceremade puis Ecole normale supérieure de Cachan, ENS) et constitue une bibliothèque des algorithmes les plus récents de segmentation d'images basés sur les équations aux dérivées partielles (Mumford et Shah, 1990 ; Alvarez *et al.*, 1992 ; Deriche et Faugeras, 1996). Ces algorithmes très performants sont complémentaires des approches que l'on trouve dans *Targetjunior.*

17 L'ensemble de ces deux logiciels constitue donc un état de l'art logiciel à jour de l'existant en vision par ordinateur, adapté à la réalisation d'un travail expérimental sur les images du delta malien.

Résultats expérimentaux

Détection des zones de rizières

18 On considère que les rizières sont géographiquement définies, de façon nécessaire et suffisante, par la juxtaposition géométrique de segments de droites orthogonaux et quasi orthogonaux et parallèles, qui correspondent aux diguettes qui isolent des « casiers » et empêchent le passage des poissons rizophages. La détermination des secteurs de l'image contenant de nombreux segments de droites orthogonaux ou parallèles permet alors de détecter les zones de rizières.

19 L'extraction automatique des zones de rizières est réalisée avec *Targetjunior* en appliquant la séquence suivante d'opérations :

- calcul du gradient de l'image par le filtre de Canny (1996) ;
- extraction des maxima locaux de la norme du gradient dans la direction du gradient ;
- seuillage par hystérésis en fonction de la norme du gradient, pour éliminer les points de norme de gradient trop faible ;
- chaînage des points de contour pour obtenir des ensembles connectés de points de contour ;
- approximation polygonale des chaînes de contours.

20 La vue I-a (figure VI, hors texte) montre l'image d'origine et la vue I-b (figure VI, hors texte) montre le résultat final obtenu par chaînage et approximation polygonale. L'image représente une zone située dans la région de Rogonta (au centre-ouest du delta intérieur du Niger, à l'ouest du Diaka).

21 Une autre solution pour extraire automatiquement les zones de rizières est d'utiliser l'algorithme de croissance de régions par optimisation fonctionnelle de Mumford et Shah (1990). Le principe de cette méthode est de définir un partitionnement de l'image qui minimise un critère composite : celui-ci comprend l'addition d'un terme définissant l'homogénéité des régions (somme des écarts quadratiques à la moyenne) et de la somme des longueurs des frontières (multiplié par un paramètre lambda).

Mosaïquage : obtenir une image d'ensemble à partir de plusieurs images homologues

22 On a ici pour point de départ neuf clichés aériens IGN de 1973 numérisés, constituant une bande Est-Ouest sur la région de Rogonta située à proximité de la bordure ouest du delta et du cours du Diaka, le principal défluent du Niger.

23 Tous les fichiers d'origine présentent les mêmes caractères géométriques et numériques (dimensions, déformations[5], teintes de gris). On cherche à obtenir une seule image à partir du rapprochement puis du raccordement « optimal » de ces fichiers. Les algorithmes mis en œuvre s'appuient sur les modules de *Targetjunior* : détection de points caractéristiques par la méthode de Harris, mise en correspondance par des techniques robustes et calcul de la meilleure homographie, puis réalisation de l'image unique d'ensemble dite « mosaïque ».

24 La figure 1 montre cette mosaïque. On a souligné en blanc le cadre des images d'origine.

25 La plupart des traits hydrographiques (chenaux et mares) y sont repérables par leur forme (linéaire et sinueuse, ovoïde) davantage que par leur teinte. En effet, les eaux peu profondes et turbides présentent des teintes de gris voisines de celles des aires émergées sableuses d'origine alluvionnaire. L'ensemble restitué montre la grande variété des milieux dans la région précitée, sur une bande large d'une vingtaine de kilomètres et qui s'étend sur 45 kilomètres environ d'ouest en est.

Mosaïquage : recalage d'une image oblique dans une image homologue

26 Il s'agit là d'un tout autre type de mosaïquage puisque les deux fichiers qui vont être intégrés l'un à l'autre ont des origines et des caractéristiques tout à fait différentes : dates et angles de prise de vue, caractéristiques numériques, étalement des teintes de gris.

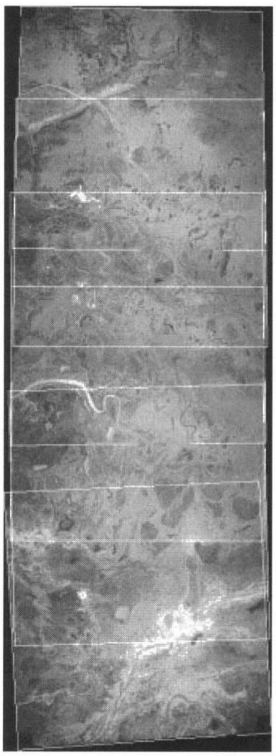


Figure 1. Obtention d'une image d'ensemble par mosaïquage à partir de plusieurs images homologues (région de Mopti, Mali).

27 Pour illustrer ce second type de mosaïquage, on présente un cas de traitement réalisé à partir d'un fichier image correspondant à une vue verticale issue de la couverture IGN de 1973 (figure 2).

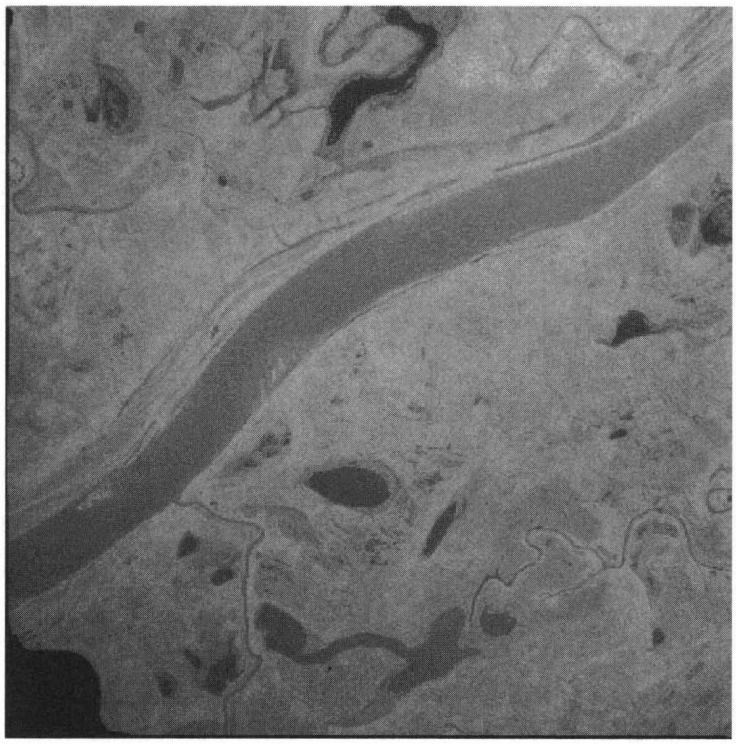


Figure 2.Vue verticale de la zone de Batamani (région de Mopti, Mali) obtenue lors de la couverture IGN de 1973.

28 Vingt-quatre ans plus tard, un survol aérien de la même zone a été effectué à bord d'un aéronef banal, et l'on a pu réaliser à cette occasion une prise de vue oblique (figure 3). L'objet qui figure sur cette vue – une petite mare et son environnement – est ensuite replacé de façon exacte et précise par recalage dans le premier fichier bien antérieur (figure 2).

29 La figure 4 présente le résultat obtenu. Cette manipulation est réalisée par un algorithme récemment mis au point à l'université d'Oxford (Hartley et Zisserman, 2000).



Figure 3. Photographie aérienne oblique d'une petite mare dans la zone de Batamani, prise en février 1997.



Figure 4. Recalage de la mare photographiée récemment en vue oblique (de la figure 3) dans la vue verticale ancienne (de la figure 2).

Discussion et perspectives

30 Les expérimentations réalisées ont permis de tester la faisabilité de traitements automatiques susceptibles d'être appliqués à un grand nombre de fichiers images et de fournir des produits fiables rapidement.

31 L'extraction automatique du thème *rizières* a donné des résultats fiables qui offrent des perspectives d'utilisation très intéressantes en exploitation diachronique, c'est-à-dire en effectuant des comparaisons du même milieu à des dates différentes. Il faut en effet rappeler que la dynamique de l'eau conditionne dans une très large mesure la dynamique des activités de production agricoles et le degré de réussite des campagnes annuelles.

32 L'extraction des deux thèmes qui correspondent aux milieux émergés (non traités ici) avec la même séquence de procédures n'a pas donné des résultats entièrement satisfaisants. L'hypothèse qui a donné lieu au choix de la séquence de traitement ne semble pas valide dans ce cas. La texture des unités spatiales, qui correspond au pointillé de la végétation ligneuse, n'est ni réellement homogène ni réellement régulière sur des superficies de l'ordre de plusieurs hectares. Des algorithmes de reconnaissance de textures (points et taches) seraient probablement plus performants que les algorithmes testés ici, qui sont basés sur l'identification des frontières.

33 Les deux expérimentations de mosaïquage et recalage se sont révélées particulièrement fructueuses. La première opération (raccordement d'images verticales de même origine) a testé une procédure performante qui permet d'obtenir rapidement des fichiers images numériques sur des espaces géographiquement significatifs. Ces espaces de plusieurs centaines de km^2 (soit l'équivalent de deux ou trois communes rurales de taille moyenne

juxtaposées) correspondent à l'échelle des opérations d'aménagement du territoire. De plus, la finesse de résolution spatiale des documents d'origine a été conservée.

34 La seconde opération de mosaïquage ouvre de grandes possibilités pour la mise à jour des informations spatiales. En effet, une couverture aérienne exhaustive en vue verticale, telle que celle réalisée par l'IGN au début des années 1970, est très onéreuse et ne peut donc pas être fréquemment reconduite. Cependant, il est tout à fait possible d'organiser des survols photographiques fréquents sur des zones limitées, surtout si l'on se contente d'un aéronef ou d'un aérostat léger (ULM, ballon) et que l'on n'exige pas de dispositif de contrôle précis (angle, altitude) de la prise de vue. Dans un tel contexte, le procédé de recalage décrit ci-dessus permet de produire une information spatiale qui bénéficie d'une part de la qualité géométrique propre à la couverture photographique verticale originelle, d'autre part d'une fréquence d'actualisation élevée autorisée par le faible niveau de moyens nécessaires pour réaliser les nouvelles prises de vue. Une telle stratégie sera particulièrement adaptée pour la mise en place de suivis temporels sur des zones limitées présentant un intérêt particulier, telles que des rizières aménagées ou des réserves naturelles, et pour exploiter, dans un avenir pas trop lointain, les données fournies par les enregistreurs satellitaires à haute résolution spatiale. Les scientifiques, les opérateurs du développement et les décideurs pourront alors disposer d'une plus grande quantité d'informations récurrentes issues des images, en particulier sur les zones inondables, souvent difficiles d'accès.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Alvarez L., Lions P. L., Morel J. M., 1992 – *Image sélective smoothing and edge detection using deformable models.* IEEE Transactions, PAMI, November 1992.

Armande N., Montesinos P., Monga O., Vaysseix G., 1999 – Thin nets extraction using a multi-scale approach. CVGIP, *Image understanding,* 73(2) : 248-257.

Canny J. F., 1996 – *A computational approach to edge detection.* IEEE Transactions, PAMI, November 1996.

Deriche R., Faugeras O., 1996 – Les EDP en traitement des images et vision par ordinateur. *Traitement du Signal,* 13 (6).

Hartley R., Zisserman A., 2000 – *Multiple view geometry in computer vision.* Cambridge University Press.

Horaud R., Monga O., 1995 – *Vision par ordinateur, outils fondamentaux.* Paris, Hermes, série Informatique, 330 p.

Mumford C, Shah R., 1990 – Boundary detection by minimizing functionnals. *T-PAMI,* 12 : 1009-1017.

NOTES

1. « Système d'information multimédia pour l'environnement subsaharien ». Il s'agit du projet Inco DC n° 961620 de la Commission européenne.
2. Les images issues des radars (ERS par exemple) sont prometteuses mais encore peu exploitées sur les zones inondables tropicales ; les enregistrements satellitaires à très haute résolution spatiale sur ces régions ne sont pas non plus couramment disponibles.
3. http://www.cmla.ens-cachan.fr/Crnla/Megawave/index.fr.html
4. ftp://ftp.esat.kuleuven.ac.be/pub/psi/visics/TargetJr/
5. Chaque fichier a cependant des valeurs de déformation différentes puisque chaque cliché est enregistré indépendamment.

AUTEURS

OLIVIER MONGA

Mathématicien. IRD, 213 rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France, monga@paris.ird.fr

YVELINE PONCET

Géographe. IRD, centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 02, France, Yveline.Poncet@orleans.ird.fr

Vers un observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger

Méthodes, résultats et enseignements d'un dispositif expérimental

Pierre Morand, Amaga Kodio et Tiéma Niaré

1 Bien que le Mali soit dépourvu de façade maritime, la pêche représente pour ce pays une activité très importante, tant par son poids social que par sa contribution relative à la richesse nationale, estimée il y a quelques années à 4,2 % du PIB (Breuil et Quensière, 1995). La pêche malienne se concentre, pour les 4/5e environ, dans le vaste système fleuve-plaine de 30 000 km² que représente le delta intérieur du Niger (DIN). Le nombre de pêcheurs y est estimé à 65 000, ce qui correspond approximativement, enfants, femmes et vieillards inclus, à une population de 250 000 personnes qui trouve dans la pêche une part importante de ses moyens d'existence[1]. A partir de la fin des années soixante-dix, la pêche deltaïque a connu une succession de graves difficultés : baisse drastique des quantités commercialisées transitant par Mopti (qui joue pour la région un rôle de centre d'exportation), échec retentissant de plusieurs projets de développement puis retrait de la plupart des bailleurs de fonds... Cette situation a conduit les autorités maliennes à considérer qu'il y avait une « crise de la pêche » et à se tourner vers des instituts scientifiques (nominativement l'INRZFH et l'Orstom, aujourd'hui devenus respectivement l'IER[2] et l'IRD) pour en étudier les causes et pour rechercher des solutions appropriées. C'est sur la base de cette demande qu'un programme de recherche, centré sur la connaissance du « système de production halieutique », a été mené à bien par une équipe pluridisciplinaire durant les années 1986 à 1993. Parmi les recommandations émises à l'issue de ce programme, l'une préconisait la « création d'un organe de suivi » qui assurerait « la collecte régulière, l'archivage et la mise à disposition d'informations sur les différentes composantes du secteur » (Quensière, 1994).

Identification du projet

Demande sociale

2 L'étude précitée laissait en effet apparaître un déficit de cohérence dans les politiques publiques successives appliquées au secteur pêche depuis l'époque coloniale – une question dont l'analyse a été poursuivie et approfondie par Fay (2000). Sur la base de ce constat, il apparaissait que la mise en place d'un organe de suivi permanent représentait une perspective éminemment souhaitable, car seule susceptible d'apporter aux décideurs et opérateurs du développement[3] une perception objective et régulièrement mise à jour de la situation du secteur. Et l'on pouvait attendre de cela une meilleure qualité d'ajustement des interventions (projets de développement) et des politiques d'aménagement – incluant en particulier la définition du cadre légal et réglementaire. Cependant, alors que l'intérêt de la mise en place d'un tel organe au Mali – et dans le delta intérieur du Niger en particulier – était reconnu sur le papier dès 1994, cette idée allait tarder à faire son chemin au plus haut niveau décisionnel. Il faut dire que le Mali menait à cette époque des réformes politiques et administratives très importantes et que celles-ci ont fort logiquement monopolisé l'attention des plus hautes autorités politiques, au détriment de projets sectoriels jugés alors moins prioritaires.

3 Vers la fin seulement de la décennie 90, avec la création d'un ministère de l'Environnement, le caractère exceptionnel du DIN et de ses ressources naturelles, véritable poumon humide en plein Sahel déshérité, est revenu au premier plan des préoccupations nationales. Et l'on peut convenir que l'établissement officiel d'un observatoire de la pêche deltaïque – considéré isolément ou, plus vraisemblablement, inclus dans un observatoire plus large qui embrasserait l'écosystème fluvial dans son ensemble et les multiples systèmes de production liés – marquerait l'aboutissement de la prise de conscience réalisée depuis quelques années par les autorités maliennes sur les questions d'environnement. Avant cet acte attendu, de nombreuses étapes devront avoir été franchies pour définir les modes de collaboration entre les différents services et acteurs, *i.e.* la description des statuts des intervenants, de leurs rôles, de leurs droits et obligations en matière de fourniture et d'utilisation de données. Cette phase préparatoire n'est pas encore achevée, même si un premier cadre est en train d'être posé avec la création de l'Agence du fleuve Niger au Mali. Celle-ci se voit en effet désignée pour devenir, entre autres mandats, « un observatoire opérationnel de l'état et de l'évolution de la ressource en eau et des milieux physiques et biologiques associés » et pour « assurer la diffusion de l'information ».

Traduction en un projet de recherche

4 Sans mésestimer le caractère fondamental du processus de maturation institutionnelle évoqué ci-avant, il a été identifié très tôt que quatre autres dimensions allaient requérir des efforts de préparation importants :

1. la mobilisation de *bases scientifiques* permettant d'identifier et de sélectionner les phénomènes ou processus à surveiller (en vue d'une bonne définition des données à collecter) ;

2. la mise au point *d'outils de communication* pour que l'observatoire soit capable de transmettre vers l'extérieur une information intelligible et utile à la décision (ce que l'on appelle aujourd'hui des *indicateurs*) ;
3. le développement et la validation *de procédures et d'outils techniques* nécessaires à son fonctionnement ;
4. la formation ou le renforcement de la *capacité technique des futurs intervenants* à faire fonctionner un dispositif de production et de circulation d'information.

5 Pour satisfaire au premier point, il était possible de prendre appui sur les travaux du programme de recherche mené dans les années 1986-1993. Quant aux deuxième, troisième et quatrième points, tout restait à faire en ce qui les concerne. C'est donc pour traiter l'ensemble de ces aspects scientifiques et techniques de la préparation d'un observatoire qu'une équipe franco-malienne[4] s'est lancée fin 1994 dans un programme de recherche appliquée, et cela sans attendre que les bases institutionnelles de cet observatoire soient établies. Il a semblé que la façon la plus simple d'aborder de façon cohérente les différents aspects de cette préparation était de travailler autour de *la conception et la mise en place d'un dispositif expérimental pilote,* opérationnel et qualitativement complet, mais dont on s'accorde à accepter le fait qu'il ne soit pas déployé « en grand » et qu'il soit dispensé, à titre provisoire, de statut institutionnel propre. On attend en particulier de ce dispositif pilote des résultats sur les points suivants : une validation des pas de temps utilisés pour la collecte des différents types de données, une évaluation de la consistance des statistiques obtenues à partir de couvertures spatiales et de tailles d'échantillon modestes, une opération-test de divers modes de présentation de l'information (ou *formats de restitution*) et enfin une meilleure connaissance de la nature des informations qui suscitent le plus d'intérêt et de réaction de la part des bénéficiaires cibles. De plus, le dispositif pilote est destiné à constituer une mise à l'épreuve en conditions réelles de l'efficacité et de la robustesse d'une série d'outils informatiques développés pour partie *ad hoc.*

6 Par ailleurs, on a convenu que le dispositif pilote devait focaliser en priorité son attention sur l'*étape de production,* ceci par souci de complémentarité avec le travail de l'Opération pêche de Mopti (OPM), structure étatique qui exerce déjà, depuis 1969, un suivi statistique sur un point plus aval de la filière pêche, à savoir la commercialisation vers le reste du pays et vers l'étranger.

7 Par facilité de langage, le dispositif pilote en question sera souvent désigné par le nom de l'organisation qu'il est censé préfigurer, *i.e.* un « observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger ».

Méthodes et outils : le SI

8 Considérée dans son sens technique, la notion de « système d'information » (SI) désigne l'ensemble des méthodes et des outils mis en œuvre de façon cohérente pour assurer de façon fiable et fluide les fonctions d'acquisition et de traitement des données ainsi que la diffusion des résultats en direction des utilisateurs cibles. Puisqu'il s'agit d'un SI d'observatoire, tout cela doit fonctionner en régime continu et routinier, avec en entrée un flux quasi-permanent de nouvelles données collectées et saisies et en sortie une émission périodique de résultats.

Représentativité des données et système d'enquête

9 Il s'agit de décrire ici le mode de collecte des données, ce qui renvoie en premier lieu à des choix d'apparence très techniques. Mais c'est aussi à ce niveau qu'est déterminée la sémantique des données et que se trouve conditionnée la possibilité de leur interprétation ultérieure. Les aspects relevant de la stratégie d'échantillonnage, du protocole opératoire et de la sémantique sont d'ailleurs tellement imbriqués dans cette partie amont du SI qu'ils peuvent être rassemblés sous le terme de « modèle d'acquisition » (Morand *et al.*, 1996).

Rappels sur les difficultés inhérentes au domaine considéré

10 Avant de décrire les solutions choisies pour construire l'architecture et pour faire fonctionner cette partie « amont » du système d'information, il faut rappeler l'existence de quelques difficultés spécifiques au domaine considéré. La mise en place d'un suivi statistique sur une pêcherie piroguière doit en effet surmonter de nombreux handicaps techniques et logistiques.

11 Le premier se rencontre aussi bien dans les pêcheries continentales que côtières : ceux qui s'intéressent à ce genre de pêches – très généralement réalisées à l'aide d'embarcations non immatriculées – ne peuvent guère s'appuyer sur des données en provenance de services administratifs portuaires ni sur des informations systématiquement fournies par des professionnels. En particulier, l'établissement de bases de sondage exhaustives pour les différents types d'éléments que l'on imaginerait pouvoir tenir le rôle d'unités statistiques (les « embarcations », les « sites de mise à terre » ou bien encore les « ménages ») est en pratique impossible, du moins au niveau de la totalité d'une région vaste comme le DIN.

12 Le second handicap, qui est propre au domaine des eaux continentales, est plutôt d'ordre logistique : les pêcheries piroguières y sont bien plus diffuses que sur les côtes et elles sont localisées le plus souvent loin des grands centres urbains et des axes routiers, ce qui soulève d'importantes difficultés pour une mise sous observation permanente (Bazigos, 1983 ; Morand et Ferraris, 1998). Tout ceci contraint fortement les choix de méthodes utilisables par le système de collecte.

Couverture spatiale et sélection de zones échantillons

13 Lors du programme de recherche mené dans les années 1987-1993, Laë *et al.* (1994) avaient été amenés à définir, à des fins d'échantillonnage, une partition de la région DIN en six strates géographiques présentant des profils bien distincts en termes d'environnement et de dynamique d'occupation humaine. Un suivi par enquête des captures avait été déployé entre juin 1990 et mai 1991 sur 35 sites répartis selon cette stratification. Sur la base des données collectées, Laë (1995) avait évalué que, parmi les six strates, trois représentaient à elles seules plus de 80 % de la production halieutique totale de la région. Dans le cadre du présent dispositif pilote d'observatoire, une zone échantillon a été sélectionnée à l'intérieur de chacune de ces trois strates principales pour devenir l'objet d'un suivi permanent (fig. 1). Chacune de ces zones échantillons est définie par un morceau d'espace d'un seul tenant de quelques dizaines de km^2 (voir tableau 1).

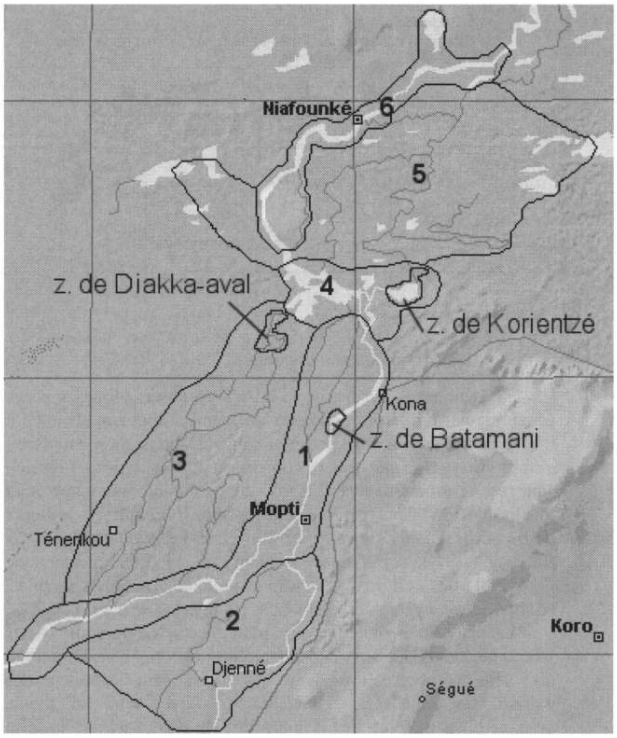


Figure 1. Les 3 zones échantillons du dispositif pilote d'observatoire, situées au sein des 6 strates géographiques de la pêche dans le DIN.

14 C'est donc sur cette base spatiale qu'est défini le *premier degré d'échantillonnage* du dispositif d'observatoire. Notons que cette définition autorise aisément des extensions ultérieures puisqu'il suffira alors de sélectionner d'autres zones échantillons.

Tableau 1. Strates et zones échantillons du dispositif pilote d'observatoire.

N° et nom des différentes strates	Surface (en km^2)	Contribution relative à la production halieutique du delta, selon Laë (*ibid.*)	Nom de la zone échantillon dans le dispositif pilote actuel	Surface en km^2 de la zone échantillon (et ratio de la surface par rapport à la strate mère)
1 : Niger amont	6 500	23 %	Batamani	80 (1,2 %)
3 : Diakka	7 000	31 %	Diakka-Aval	158 (2,3 %)
4 : lacs centraux	2 000	28 %	Korientzé	149 (7,4 %)
2, 5 et 6 réunies	14 500	18 %	pas de zone échantillon	–

Les enquêtes et leurs objets

15 Il s'agit maintenant de décrire la mise sous observation des zones échantillons, qui seront soumises au même traitement. Il a fallu tout d'abord définir un certain nombre d'objets méritant d'être « observés ». Une partie de ces objets, ou plutôt « types d'objets », sont reconnus comme ayant une existence durable et comme étant localisables de façon fixe : ce sont les *sites d'habitat,* les *secteurs de pêche,* les *sites de mise à terre* et enfin les *sites de dispositifs fixes* de pêche. Ces objets servent au géoréférencement de l'ensemble des données collectées et traitées. Les objets mobiles, comme les *ménages,* ou éphémères,

comme les *actions de pêche,* sont localisés de façon temporaire (datée) en se référant aux objets fixes précédents. Ce sont cependant eux qui retiennent l'essentiel de l'effort d'observation. Tous ces objets sont soumis à des « prises de données », organisées de façon plus ou moins systématiques et selon des rythmes différenciés, à travers la mise en œuvre de quatre modes d'enquêtes bien distincts. Nous donnons ci-après une brève description de ces quatre modes d'enquête.

1. *L'enquête initiale de cadrage socio-géographique* a été réalisée en un passage unique et de façon exhaustive. Elle s'intéresse à l'objet « site d'habitat », qui peut être soit un village soit un campement, selon l'ancienneté et le statut social. A travers le remplissage d'un formulaire, chaque site a été décrit « une fois pour toutes » du point de vue de son origine, de son contexte géographique, de sa position sociale. Une mise à jour de ces informations pourra être faite à l'horizon dix ou quinze ans.
2. *L'enquête bimestrielle sur les présences, les mouvements et les activités* est une enquête exhaustive qui est menée en parallèle sur chacune des trois zones, un mois sur deux. Elle consiste à visiter les sites d'habitat et à y administrer trois formulaires : le premier est destiné au chef de l'agglomération visitée ; le second est une liste de présences, de mouvements et d'activités déclarées dans laquelle figurent tous les ménages de pêcheurs du site ; et enfin le troisième est administré auprès d'un échantillon de trois ménages (tirés dans la précédente liste) pour recueillir des informations concernant les activités de valorisation du produit de la pêche.
3. *L'enquête sur l'installation et l'exploitation des dispositifs fixes* s'intéresse aux dispositifs de barrages de nasses ou de filets qui sont installés en période de décrue et d'étiage, entre mi-novembre et mi-juin, et quelquefois en août au moment de la crue. Trois formulaires y sont utilisés de façon articulée mais pas forcément simultanée : le formulaire descriptif du dispositif de pêche « par saison de fonctionnement », le formulaire d'observation d'une opération de levée des prises du dispositif, le formulaire de description d'un lot capturé et d'un échantillon de poissons issus de ce lot. Les deux derniers formulaires ne sont pas passés de façon systématique mais lorsque l'occasion se présente.
4. *L'enquête factuelle sur les retours de sortie de pêche* consiste à réaliser des observations de sorties de pêche à leur retour, sur les sites de mise à terre. Les sites ne sont pas visités de façon systématique, mais selon un mode d'échantillonnage raisonné et « au jugé » (Bazigos, *ibid.*) visant une certaine représentativité de la structure technique de l'activité (telle que celle-ci apparaît à travers les déclarations enregistrées lors de l'enquête bimestrielle décrite ci-avant) tout en tenant compte des possibilités de déplacement des enquêteurs et de l'information qu'ils acquièrent une fois sur place. Sur une demi-journée, l'enquête consiste tout d'abord à décrire les conditions générales d'activité sur un site de mise à terre. A un niveau plus fin, des pêcheurs (formant un échantillon) sont interrogés sur la sortie qu'ils viennent d'effectuer, au fur et à mesure de leurs arrivées. On décrit enfin les lots capturés par chacun de ces pêcheurs, de façon globale puis au niveau des individus-poissons. Quatre formulaires correspondant à ces quatre niveaux d'information sont donc utilisés « en cascade » (fig. 2).

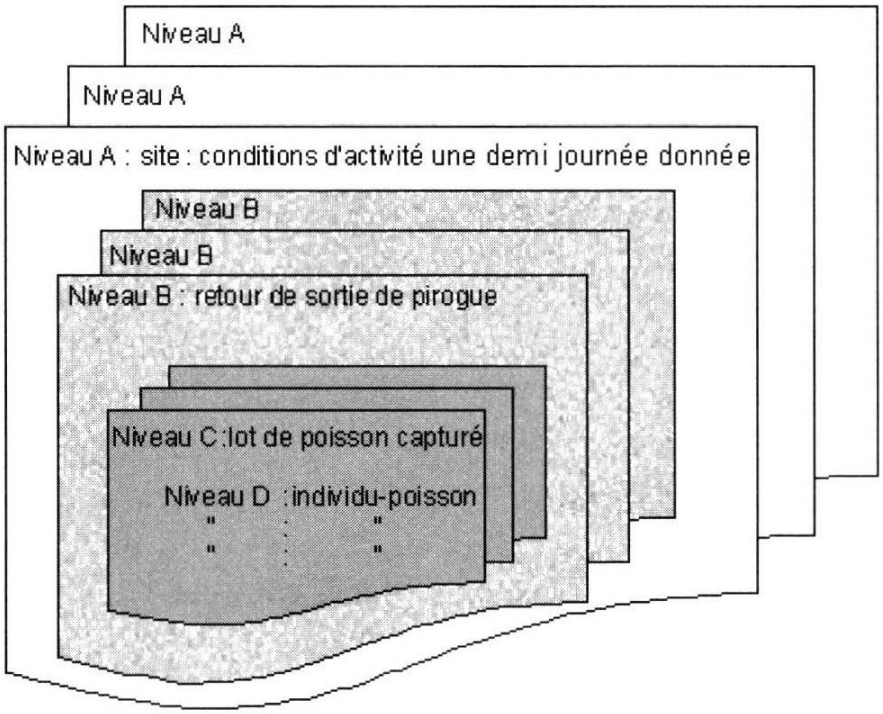


Figure 2. Enchaînement « en cascade » du passage des formulaires dans le cadre des enquêtes sur les retours de sortie de pêche : après avoir renseigné un formulaire de niveau A sur les conditions d'activité du jour donné sur le site de mise à terre, l'opérateur fait appel à plusieurs exemplaires d'un formulaire de niveau B pour décrire un certain nombre de retours, puis, pour chaque retour enquêté, utilise un ou plusieurs exemplaires du formulaire-descriptif d'un lot de poisson capturé (niveau C). Ce dernier formulaire contient aussi des lignes (niveau D) à renseigner pour décrire, individu par individu, un échantillon de poissons présents par lot.

16 En remplissant les formulaires des différents niveaux et des divers modes d'enquête, l'opérateur de terrain renseigne les variables descriptives des objets et il doit suivre pour ce faire des méthodes d'observation et des grilles normalisées. Par exemple, s'il s'agit de la mesure d'un poisson, c'est la *longueur standard* (jusqu'à la pliure de la queue) qui est relevée. S'il s'agit de décrire le milieu dans laquelle l'action de pêche a été effectuée, ce sont cinq modalités qui sont proposées : « mare », « plaine inondable », « chenal », « grand bras », « fleuve lui-même ». S'il s'agit de décrire les espèces présentes dans le lot de poissons capturés, c'est la taxonomie conventionnelle qui est utilisée, à quelques exceptions près (par exemple, les deux espèces de *Clarias* sont confondues sous *Clarias sp.*). S'il s'agit de décrire la technique de pêche utilisée, c'est une liste de treize modalités possibles qui sert de référence. D'autres listes de modalités (ou *nomenclatures*) sont utilisées pour permettre à l'enquêteur d'enregistrer le type de configuration physique des sites des dispositifs fixes, le type de commercialisation et bien d'autres renseignements encore... L'établissement de ces nomenclatures a bénéficié des travaux de recherche menés lors des années antérieures (Quensière, *ibid.*) mais des ajustements ont dû être effectués au cours des premiers mois de la mise en place du dispositif pilote d'observatoire.

Les outils et procédures de stockage, de traitement et de dissémination

17 Le S. I. met en œuvre un jeu d'outils informatiques (fig. 3) pour saisir, stocker, gérer et traiter les données de façon à ce que l'on puisse en sortir, avec fiabilité et régularité, des résultats présentés selon des formats standards. Tous ces outils font appel à des logiciels commerciaux. Certains d'entre eux sont utilisés à travers l'interface fournie d'origine, sans écriture de code supplémentaire. D'autres sont au contraire utilisés à travers une interface spécifique pilotée par une *application* écrite *ad hoc.* Lorsque les manipulations de données sont prises en charge par de telles applications, le niveau de rapidité et de fiabilité devient très élevé et l'on rejoint alors une quasi-automaticité des traitements.

18 Toutefois, étant donné que l'observatoire n'est encore qu'expérimental, seules les tâches très lourdes du stockage et de la préparation des données ont donné lieu pour l'instant au développement de véritables applications : il s'agit nominativement de *SIPDelta S* et de *SIPDelta T,* toutes deux écrites en *Foxpro.* La première est dédiée au stockage et à la gestion des données brutes, la seconde à l'extraction de données et à la préparation de tableaux prêts à entrer dans le processus d'analyse et de description statistique. Le défi principal relevé par l'application *SIPDelta S* était de parvenir à conserver la totalité des données brutes *sans perdre* les relations existant entre elles, comme par exemple celles qui sont générées par des protocoles de collecte « en cascade » (fig. 2). Pour garantir cela, il a fallu décrire au préalable la structure des données collectées sous la forme d'un schéma normalisé : le « modèle de données »[5].

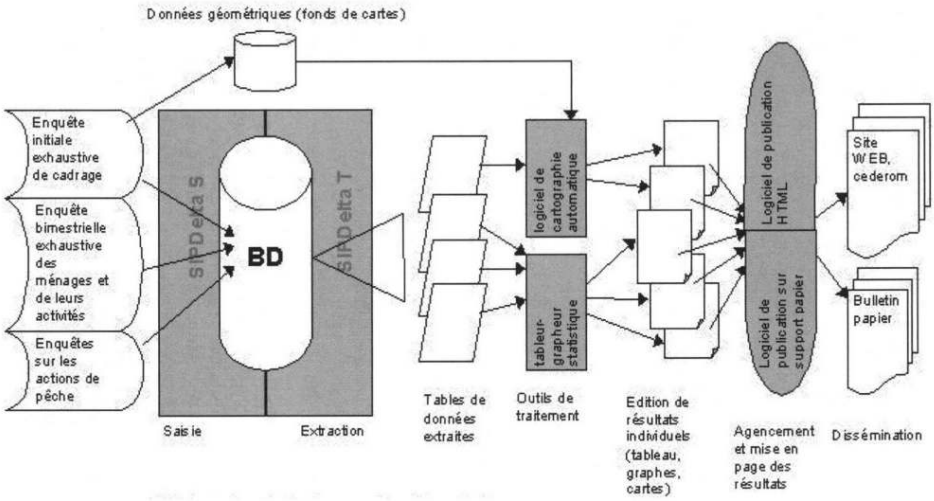


Figure 3. Le système d'information de l'observatoire de la pêche.

19 En définitive, c'est une base de données de quinze tables, répondant à une structure relationnelle, qui est régulièrement alimentée et gérée par cette application. Certaines tables contiennent aujourd'hui plusieurs dizaines de milliers de lignes (soit autant d'observations enregistrées).

20 Tous les deux ou six mois, des sessions de travail sont réalisées avec la seconde application, *SIPDelta T*, qui réalise, sur simple sélection « presse bouton » dans un men différents jeux de traitements. Ces traitements consistent en des enchaînements d'opérations de jointures, de sélection et d'agrégation qui portent sur les tables de la base de données. Ils aboutissent, selon les choix effectués dans le menu, à la production de tables extraites ou bien à l'édition d'états statistiques thématiques en format éditable. Les tables extraites sont traitées par des tableurs/grapheurs statistiques tels que Excel et Statistica. Elles peuvent aussi être jointes à des tables de localisation renvoyant à des fonds géométriques pour aboutir, par la mise en œuvre du logiciel *Arcview,* à des mises en forme cartographiques.

21 L'assemblage des différents résultas obtenus (tableaux, graphiques et cartes), associés à quelques textes de légendes et de commentaires, est réalisé avec les outils habituels de l'édition papier (Word) ou multimedia (Dreamweaver). Le schéma d'assemblage est défini une fois pour toutes, selon deux modes correspondant aux deux supports de diffusion utilisés :

- un bulletin papier, produit au rythme de deux numéros par an, relate les conditions de déroulement et le degré de réussite de la première et de la deuxième moitié de chaque *campagne annuelle* (respectivement *novembre à mi-mars* et *mi-mars à août*). Il fournit une description de la situation sur chacune des trois zones suivant quatre angles thématiques : l'occupation des zones de pêche et la mobilité des pêcheurs, le déploiement de l'activité de pêche, les captures, la valorisation du produit de la pêche. S'y ajoute une *note de conjoncture* synthétique, unique pour les trois zones ;
- une base hypertexte de documents électroniques multimédia reprend cumulativement tous les numéros du bulletin et y associe de nombreux autres résultats, notamment des séries temporelles fournissant des vues synoptiques sur les évolutions pluriannuelles, des cartes, des fiches descriptives sur les villages et les campements, des photos de poissons et de séquences de paysages, des données contextuelles fixes et des méta-informations (*e.g.* catalogue des espèces, description du cadre méthodique utilisé...).

22 L'ensemble représente plusieurs centaines de pages *.html* que l'on peut consulter en naviguant à travers une interface qui fonctionne aussi bien en ligne (*via* Internet) que sur cederom. Cette interface fait appel à deux barres de menu : la première, permanente en haut de l'écran, permet d'accéder à l'une des dix rubriques principales ; la seconde, contextuelle, apparaît une fois qu'une sélection a été faite sur la première (fig. 4).

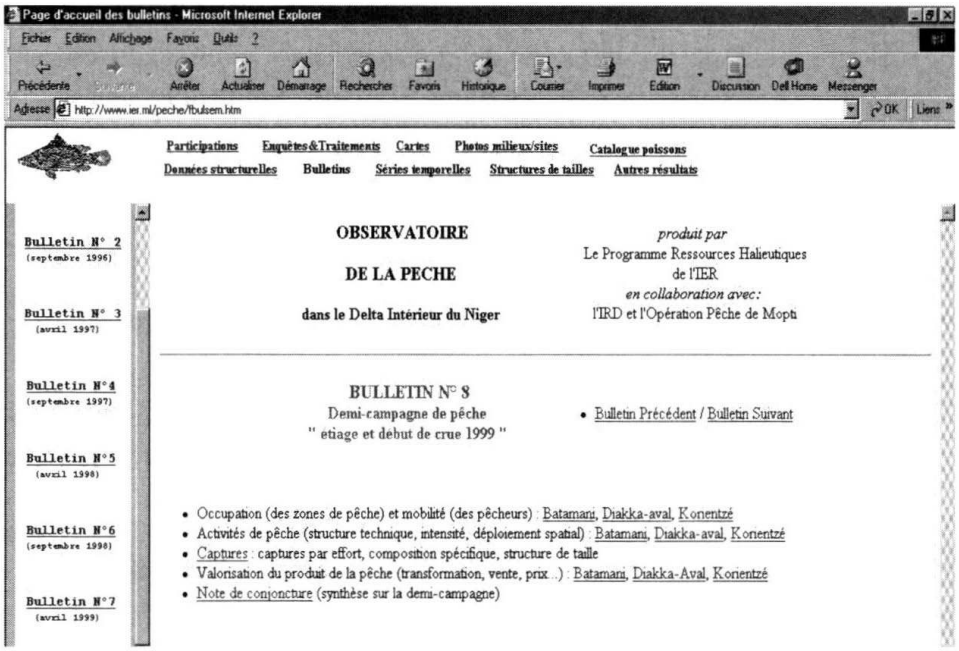


Figure 4. Copie d'écran de l'interface du site web et du cédérom de l'observatoire de la pêche, au moment où l'on accède à la page d'entrée d'un numéro du bulletin.

Résultats, validations

23 Un certain nombre d'informations statistiques originales produites par le dispositif expérimental d'observatoire sont présentées ci-après, accompagnées d'interprétations destinées à montrer leur intérêt potentiel pour le suivi et la gestion de la pêcherie. On exposera ensuite les démarches de validation qui ont été appliquées à cet ensemble d'informations.

Exemples de résultats produits et diffusés

24 Il est un fait avéré – et qui peut sembler de prime abord désappointant – qu'une grande partie des informations produites par un observatoire, et singulièrement par celui considéré ici, sont banales c'est-à-dire attendues sur la base des connaissances existantes[6] : on ne s'étonnera pas, par exemple, de constater à la lecture des pages du site web que les sennes sont surtout utilisées en période de décrue et d'étiage, que les prix d'achat du poisson au producteur sont plus faibles lorsque la saison de pêche bat son plein, ou bien encore que les bonnes crues entraînent de meilleures captures... Encore ne faut-il pas relâcher l'effort de suivi et de vigilance sur ces phénomènes connus car des anomalies peuvent survenir et c'est alors de l'information au sens fort, inédite et peut être du plus haut intérêt, qui se présente. Car c'est bien par une attention permanente portée aux observations quotidiennes ou mensuelles – rapportées, par exemple, à des valeurs habituelles ou *normales saisonnières* - que l'observatoire peut aiguiser sa sensibilité et détecter précocement des signaux révélateurs d'évolutions ou annonciateurs de changements. C'est ainsi que le dispositif expérimental pilote de l'observatoire de la pêche a permis de mettre en évidence des phénomènes et de détecter des tendances

évolutives qui, en son absence, n'auraient pas pu être connus ou bien n'auraient pas été aussi vite signalés et décrits.

Détection d'irrégularités dans les cycles migratoires

25 Le DIN est soumis à un cycle environnemental saisonnier très ample comportant une période de crue et d'inondation de juillet à octobre suivi d'une décrue jusqu'en février-mars et s'achevant par une période de basses-eaux (ou étiage) jusqu'en juin. Une fraction importante des pêcheurs du delta, qualifiés de *migrants,* effectuent des migrations « pendulaires » sur ce rythme annuel, avec pour stratégie de se trouver à chaque saison dans les zones où le poisson peut être capturé en abondance (Kassibo, 2000). Ces migrants quittent en novembre-décembre leurs villages d'origine situés dans la partie sud du delta ; ils stationnent de décembre à mars dans la partie moyenne (plaines du Diakka) pour pratiquer des pêches de décrue visant les bancs de poissons en migration ; puis ils gagnent la partie septentrionale et s'installent dans des campements autour des lacs Débo et Korientzé, seules masses d'eau résiduelles importantes en période d'étiage. Le retour vers les villages d'origine marque la fin de la campagne de pêche et a lieu au plus tard début septembre. Il s'ensuit que les zones d'accueil des migrants sont affectées d'un mouvement cyclique de variations de leurs effectifs. Le suivi réalisé par l'observatoire dans la zone échantillon de Korientzé, qui est l'une de ces zones d'accueil, a permis de mieux décrire ce cycle d'occupation et de le quantifier. Les ménages allochtones y sont installés dans des campements, soit de façon permanente (pour une cinquantaine d'entre eux), soit de façon saisonnière entre février et juin – et c'est dans ce second cas qu'on les qualifie de « migrants ». Les ménages autochtones, au nombre d'une trentaine, résident dans les villages de la zone durant une partie de l'année puis se déplacent de quelques kilomètres en février pour rejoindre les rives du lac, où ils s'installent dans de petits campements au voisinage des campements d'étrangers. Ce calendrier annuel de mobilité et d'occupation n'est cependant pas aussi régulier que ce que l'on pouvait imaginer : un examen attentif des données (fig. 5) montre que, selon les années, les migrants sont déjà installés dans les campements en février (cas de 1998) ou bien n'arrivent qu'en mars ou avril (cas de 1996 et 1999) ; ils restent ensuite massivement jusqu'en juin (cas de 1998 et 99) ou bien partent plus tôt (cas de 1996). De plus, il apparaît que le nombre de ces

migrants au moment du pic d'occupation peut varier selon les années du simple au double, soit de 85 à 170 ménages environ.

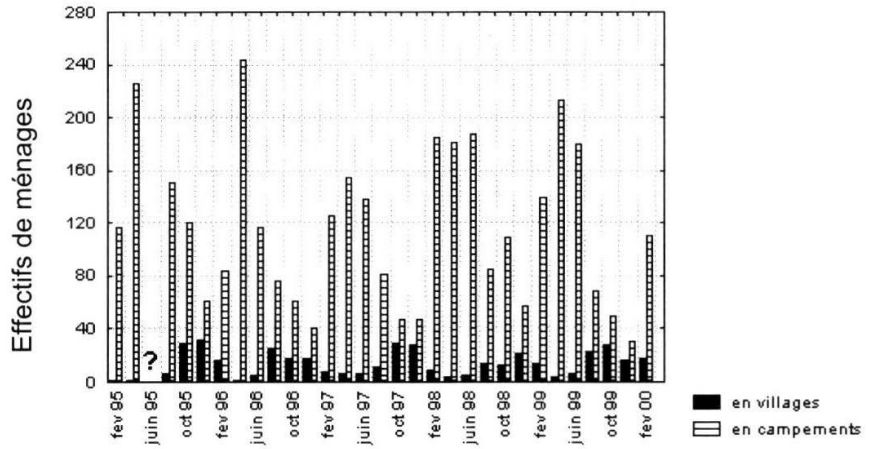


Figure 5. Suivi par recensement bimestriel des effectifs de ménages de pêcheurs dans la zone de Korientzé, par type d'habitat.

26 Une analyse plus fine des données collectées est possible grâce à l'utilisation de représentations spatiales. Celles-ci montrent que ce sont surtout deux campements, situés dans la partie sud de la zone, qui sont à l'origine des variations d'une année à l'autre (fig. 6). Les variations interannuelles de l'occupation de cette zone par les migrants ne se laissent pas aisément expliquer par l'examen conjoint des circonstances hydroclimatiques (Kodio *et al.*, ce volume)[7]. Il reste alors à s'interroger sur les causes, probablement économiques ou sociales, d'une telle instabilité (ou flexibilité ?) du comportement migratoire des ménages.

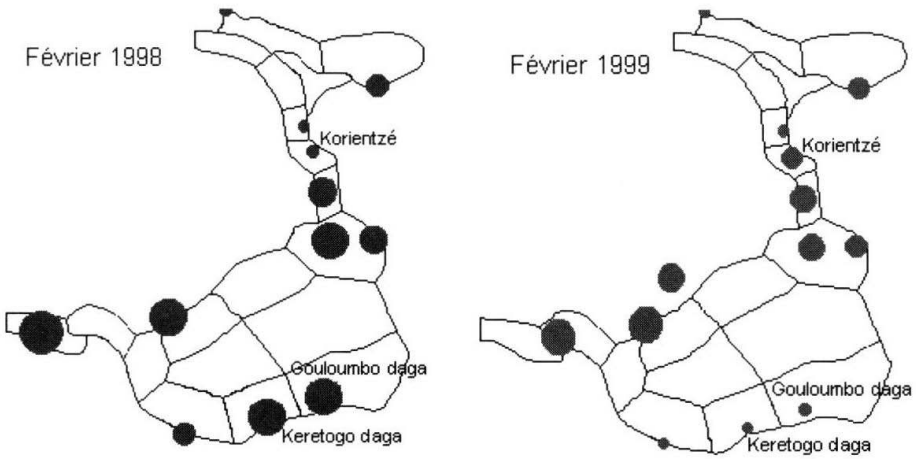


Figure 6. Comparaison des effectifs de ménages dans les sites d'habitat de la zone de Korientzé, respectivement en février 1998 et février 1999. La surface des cercles est proportionnelle aux effectifs recensés.

Changements locaux dans les pratiques de pêche

27 Après avoir décidé de leur mouvement et de leur installation en tel ou tel lieu, les pêcheurs mettent en œuvre un certain nombre de techniques pour atteindre et capturer

le poisson. Tout comme pour les migrations, l'utilisation de ces techniques est supposée obéir à un calendrier saisonnier assez strict, mais il apparaît parfois, d'une année à l'autre, d'importantes irrégularités. Certaines de ces irrégularités sont très temporaires, d'autres se maintiennent comme si elles annonçaient un véritable changement. C'est ainsi que, dans la zone de suivi de Diakka-aval, la panoplie de techniques utilisées durant les mois d'étiage (avril à juin) s'est modifiée de façon très importante, jusqu'au point que deux techniques qui étaient dominantes il y a quelques années (le filet dormant et la palangre non appâtée) sont aujourd'hui devenues des techniques d'emploi secondaire à cette saison, supplantées par une autre technique appelée *xubi-seu* (voir fig. 3 *in* Kodio *et al.*, *ibid.*). Il faut toutefois noter que, hormis ces modifications locales des préférences techniques, aucune tendance nette affectant l'effort global de pêche (nombre annuel de sorties de pêche réalisées sur l'ensemble des trois zones suivies) n'est décelable sur la durée de la demi-décennie considérée, soit de 1995 à 2000.

Suivi du développement de la vente en frais

28 Au-delà de l'action de pêche elle-même, l'étape de production se prolonge jusqu'à la valorisation par le pêcheur du fruit de son activité. Cette valorisation peut se limiter à une simple vente du poisson, au sortir de la pirogue, à un mareyeur présent sur le site de mise à terre : on parle alors de *commercialisation en frais.* Dans d'autres cas, le pêcheur ou sa femme applique un procédé de transformation (fumage ou séchage) au poisson et c'est ce produit transformé qui est vendu à un commerçant acheteur. Il importe, dans le cadre d'un suivi, d'apprécier l'évolution de la fréquence relative du recours à l'un ou l'autre de ces deux modes de valorisation. Pour cela, plusieurs questions étaient posées dans les enquêtes. L'une consistait à demander au pêcheur « s'il a eu recours à un mareyeur en frais pour écouler tout ou partie du produit de sa dernière sortie de pêche ». Le traitement des réponses montre, au-delà des variations inter-mensuelles, de très nettes tendances à l'accroissement de ce mode de commercialisation dans les deux zones de Batamani et de Korientzé (fig. 7).

29 Certes, dans la première d'entre elle, la présence du fleuve et le moindre éloignement de Mopti avait encouragé depuis quelques années déjà la venue quotidienne de mareyeuses (Weigel et Stomal, 1994). Mais l'observatoire montre que ce mouvement s'est accentué depuis 1996. Dans la seconde zone (Korientzé), l'apparition des mareyeurs(ses) est au contraire un fait totalement nouveau, que l'on peut expliquer à la fois par l'engouement général du marché pour ce type de produit mais aussi, à un niveau plus local, par l'amélioration de la piste de desserte.

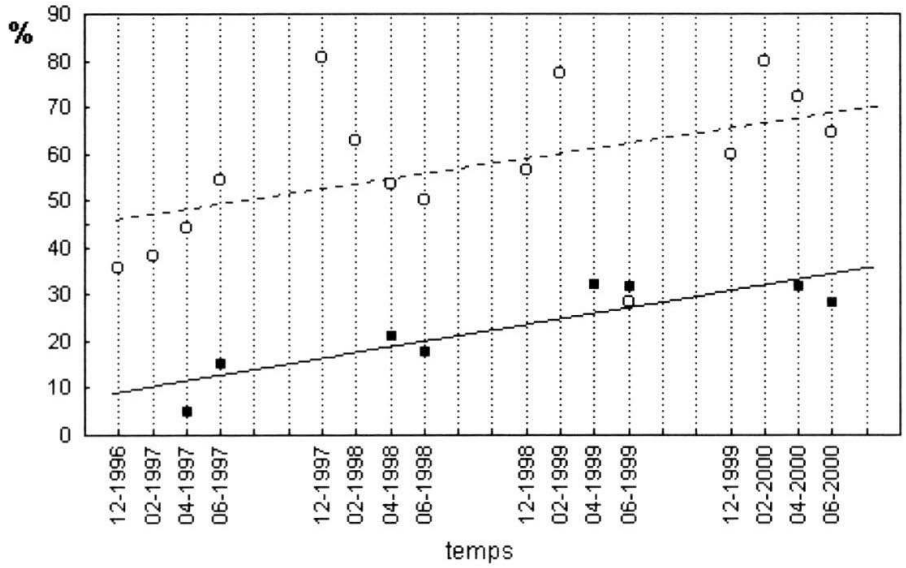


Figure 7. Évolution sur quatre années du taux de recours à un mareyeur en frais pour écouler le produit dé la dernière sortie de pêche, durant les mois actifs de la campagne de pêche – c'est-à-dire décembre à juin pour Batamani (o) et avril à juin pour Korientzé (■). La valeur anormalement basse observée à Batamani en juin 1999 révèle la gêne à la navigation des pinasses provoquée par le niveau d'eau exceptionnellement bas.

30 Il est intéressant de noter ici qu'une autre question, sémantiquement quasi opposée et qui devait donc jouer un rôle complémentaire de celle exploitée ci-dessus, avait été posée dans le cadre des enquêtes : « Avez-vous vendu du poisson transformé à un commerçant collecteur durant la semaine écoulée ? ». Malheureusement, les résultats se sont avérés peu interprétables, et l'on n'en a compris la raison qu'après coup : lorsque la production des campements est massivement fumée et séchée, les commerçants acheteurs de poissons transformés n'y font pas des tournées plus fréquentes mais ils achètent simplement de plus grosses quantités par transaction. Il faut rappeler ici que le poisson transformé est une denrée aisément stockable chez le pêcheur en attente du passage du commerçant acheteur.

Mise en évidence d'une divergence d'évolution entre les prix des produits frais et transformés

31 Parmi les informations les plus demandées sur la filière halieutique figurent les prix des produits de la pèche. Grâce aux enquêtes mises en place sur les lieux de production par l'observatoire, on dispose de données qui sont issues soit *d'observations factuelles* réalisées au moment de la transaction de vente juste après le retour de pêche (cas du poisson vendu en frais) soit de *déclarations* faites par les pêcheurs après le passage des commerçants collecteurs auxquels ils ont eu affaire (cas du poisson vendu à l'état transformé)[8].

32 L'observatoire a permis de mettre en évidence des tendances divergentes, au moins depuis mi 1997, entre l'évolution des prix des produits vendus en frais et celle des produits vendus transformés. Alors que les premiers sont constamment orientés à la hausse, les seconds ont tendance à se stabiliser, voire à décliner. Ceci est très apparent en ce qui concerne les tilapias *lato sensu* appelés commercialement « carpes » (fig. 8, A et B). Le même phénomène affecte les siluriformes (rappelons que les deux groupes réunis

forment l'essentiel des captures). On dispose là d'une information susceptible d'expliquer la préférence croissante des pêcheurs pour la commercialisation en frais du produit de leur travail (*cf. supra*).

Élaboration d'un indicateur fin concernant la dynamique de la ressource

33 Les scientifiques des pêches s'efforcent d'évaluer l'état des stocks de poissons dans le but de détecter d'éventuelles situations de *surexploitation.* Ils utilisent pour ce faire une batterie d'indicateurs, dont un certain nombre sont basés sur la taille des individus. L'idée générale est qu'une pêche intensive enlève aux poissons une bonne part de leurs chances d'atteindre une taille respectable. Une diminution de la longueur moyenne des individus capturés révèle donc normalement l'accroissement de la mortalité par pêche. Dans le cas des ressources halieutiques des fleuves tropicaux, qui vivent et se régénèrent sous l'influence de la pulsation annuelle de crue (Welcomme, 1979), le raisonnement est moins simple.

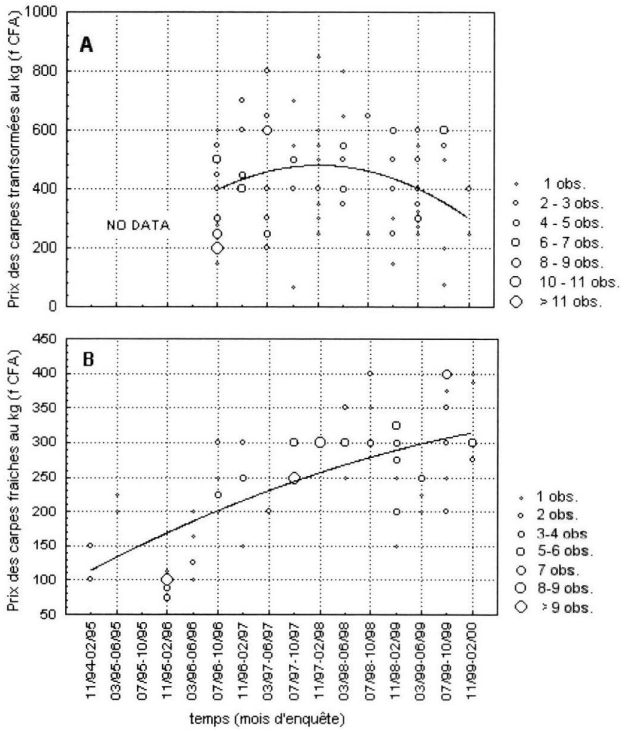


Figure 8. Évolution du prix producteur des tilapias vendus après transformation (séchage le plus souvent) (A) ou bien vendus en frais (B). Les prix de la courbe A doivent être divisés par 3,3 pour retrouver un prix spécifique rapporté au kg de poids frais.

34 S'il reste vrai que la pêche peut faire chuter la taille moyenne en réduisant l'espérance de vie des poissons, on s'attend aussi à ce qu'une bonne crue fasse baisser cette même taille moyenne en amplifiant la réussite de la reproduction annuelle et en créant les conditions d'un fort recrutement d'individus 0^+ (lesquels sont évidemment de petite taille) lors de la campagne de pêche qui suit. L'indicateur « taille moyenne » est donc brouillé et son interprétation devient difficile, comme le suggère des résultats de modélisation (Morand et Bousquet, 2000). Pour clarifier cela et isoler la part de « l'effet bonne crue » sur la structure de taille, un indicateur un peu différent a été essayé : « la proportion de poissons capturés de taille standard inférieure à 15 cm ». En focalisant l'analyse sur la

première moitié de la campagne (entre novembre et mi-mars), il apparaît qu'il existe une bonne réponse de cet indicateur à la survenue d'une conjoncture hydroclimatique de type « retour de bonne crue » (fig. 9-B). Pour parvenir à cela, il a fallu constituer au préalable un référentiel moyen (fig. 9-A).

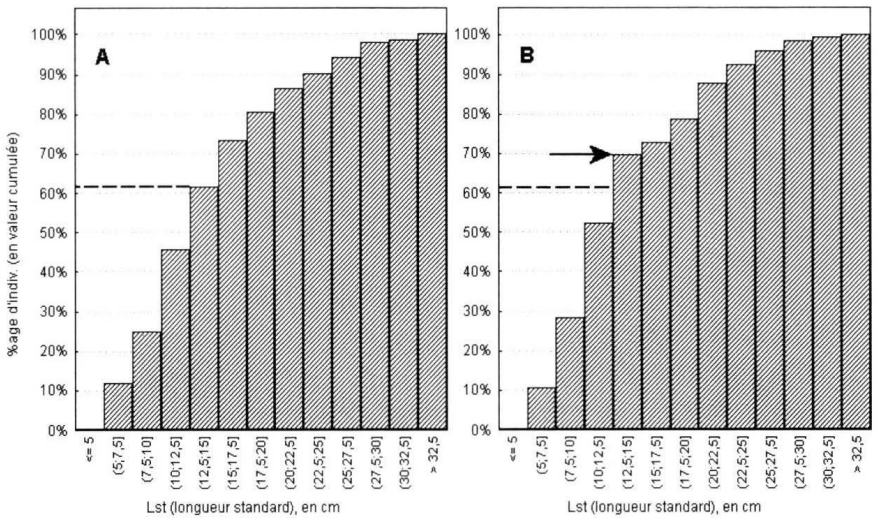


Figure 9. Histogrammes cumulés des tailles de poissons pêchés en début de campagne. Sur le graphe A, une barre de référence au niveau 61 % correspond à la proportion moyenne de poissons de taille inférieure à 15 cm en début de campagne, toutes années confondues. Cette valeur est largement dépassée lors des débuts de campagne qui suivent les retours de bonne crue (1994/95 et 1998/99), puisqu'elle atteint alors 70 % (graphe B).

Démarches de validation

35 Selon Mullon et Piron (1998), la validation de l'information statistique produite par un observatoire doit être envisagée de deux façons. La première, dite *intrinsèque,* s'intéressera à la fiabilité et la précision des résultats. La seconde évaluera le degré d'intérêt suscité par les informations diffusées auprès des utilisateurs ou bénéficiaires cibles.

Validation intrinsèque

36 On considère classiquement que l'évaluation de la fiabilité et de la précision d'un résultat statistique – considéré isolément et envisagé du point de vue de sa valeur absolue – est du ressort de la théorie des sondages. L'application de celle-ci n'est toutefois pas toujours possible (notamment lorsque l'échantillonnage ne suit pas un plan de tirage aléatoire) et, même lorsqu'elle l'est, les conclusions auxquelles on aboutit sont systématiquement pessimistes – suggérant par exemple que les effectifs échantillonnés auraient dû être 10 ou 100 fois plus importants ! Or, si l'on considère le contexte des statistiques produites dans le cadre d'un observatoire, des éléments supplémentaires peuvent être pris en compte pour modifier cette vision. Il y a tout d'abord un certain nombre de cas (*e.g.* les effectifs dans les zones échantillons, fig. 5 et 6) où le résultat correspond à un dénombrement exhaustif au niveau local, interprétable en tant que tel. La question de l'évaluation statistique ne se pose donc pas ou bien alors seulement de façon très triviale – il s'agit de vérifier l'effectivité de la collecte et l'absence de biais de déclaration. Dans les autres cas, où les résultats sont implicitement des estimations (*e.g.* fig. 7, 8 et 9), il existe

des arguments pour mener une évaluation sereine sans avoir recours à la théorie des sondages : le fait que les mêmes types de résultats sont produits en séquence rapprochée en suivant un protocole constant (les valeurs successives de la série se confortant alors mutuellement) ; le fait que l'on s'intéresse davantage aux évolutions (donc aux valeurs relatives) qu'aux valeurs absolues ; le fait enfin que plusieurs résultats sémantiquement proches ou liés sont souvent produits de façon indépendantes (d'un point de vue technique) autour d'un même processus ou phénomène. C'est ainsi par exemple que les résultats statistiques présentés respectivement sur l'évolution des modes de commercialisation (fig. 7) et sur l'évolution des prix payés au producteur pour différents types de produits (fig. 8) se renforcent mutuellement par le fait qu'ils sont cohérents entre eux si l'on admet l'hypothèse simple selon laquelle les pêcheurs aiment gagner le plus d'argent possible avec le produit de leur travail.

37 La démarche est encore plus probante si, aux fins de valider l'appréciation de tendances portant sur des grandeurs identiques ou voisines, on peut confronter deux séries de résultats provenant respectivement de l'intérieur et de l'extérieur du dispositif. C'est ce qui se passe lorsqu'on compare (fig. 10) l'évolution des statistiques de captures par sortie de l'observatoire (obtenues par les enquêtes menées sur les sites de mise à terre) avec la série des quantités commercialisées enregistrées par l'OPM[9].

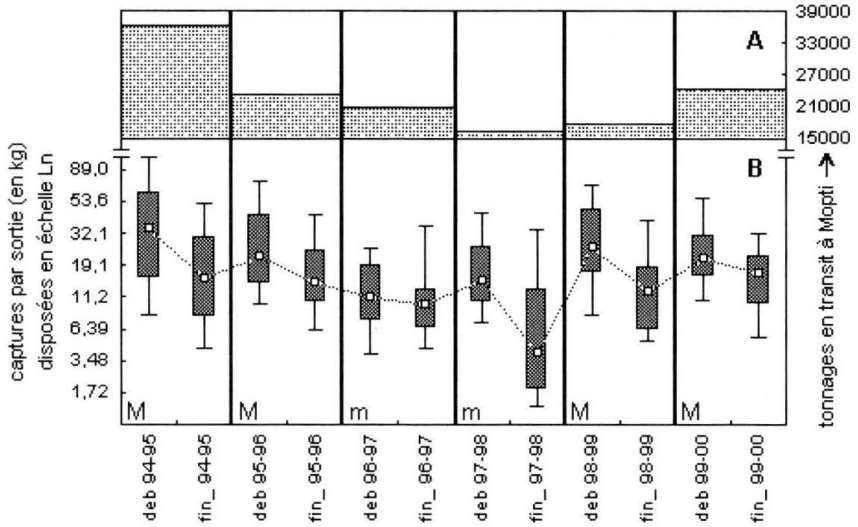


Figure 10. A : Évolution des quantités (en équivalent poids frais) en transit par Mopti, d'après l'OPM. B : Évolution des captures par sortie enquêtées par l'observatoire de la pêche (la ligne pointillé joint les valeurs médianes des distributions observées, les limites inférieures et supérieures des boîtes sont aux niveaux des percentiles 25 et 75 % et celles des « moustaches » aux niveaux des percentiles 10 et 90 %). Les périodes de référence sont les campagnes (A) ou les demi-campagnes (B). Les crues *moyennes* (supérieures à 6 m) ou *médiocres* (entre 5,50 et 6 m) sont respectivement repérées par les lettres « M » et « m ».

38 Si l'on examine l'évolution des captures par sortie (fig. 10-B), on constate qu'il existe non seulement des effets saisonniers – les valeurs sont toujours plus faibles en fin de campagne qu'en début de campagne – mais aussi une nette tendance négative affectant les quatre premières campagnes de la série, *i.e.* jusqu'à la campagne 1997/98 qui marque le passage par un minimum. Puis, à la faveur de crues un peu plus puissantes, les captures par sortie se redressent (1998/99 et 1999/2000). Les quantités commercialisées enregistrées par l'OPM (fig. 10-A) suivent une évolution pluriannuelle comparable, avec toutefois un retard de la reprise : la valeur 1998/99 semble anormalement faible. Une

discussion avec des cadres de l'OPM nous a révélé qu'ils ont été pris au dépourvu par un nouveau comportement des mareyeurs en frais qui, partant de plus en plus souvent de Konna (petit port au nord de Mopti), se sont mis à contourner le système d'enregistrement. Mais cette faiblesse du dispositif a pu être corrigée dès la campagne suivante. Ainsi donc s'affirme l'intérêt de disposer de deux sources d'information totalement indépendantes pour suivre l'évolution de la productivité halieutique du DIN.

Validation auprès des bénéficiaires cibles

39 Les produits de l'observatoire ont été diffusés (ou montrés) de façon prioritaire à deux catégories de personnes identifiées comme groupes d'utilisateurs potentiels.

40 Le premier groupe est constitué par les responsables de treize « services » (structures administratives et projets d'appui au développement). A partir de fin 1996, ces responsables ont été destinataires réguliers de la version papier du bulletin semestriel. Une enquête de perception et de satisfaction a été menée auprès d'eux en septembre 1999. Outre les encouragements recueillis, certaines remarques formulées au travers de l'enquête ont contribué à la formulation de nouveaux traitements et modes de présentation. Une demande d'information s'est exprimée de façon particulièrement vive sur la question des ratios « migrants/sédentaires » et « allochtones/autochtones » – sans doute parce que ces ratios sont considérés comme jouant un rôle déterminant dans l'apparition des conflits. Or de telles statistiques sont, pour des raisons sémantiques, très difficiles à produire. Après plusieurs tâtonnements, des formats de restitution tels que celui présenté à la figure 5 ont été mis au point.

41 Le second groupe de bénéficiaires cibles est constitué par les représentants des pêcheurs eux-mêmes. Il s'agit de responsables de cellules locales des syndicats APRAM et APPM[10] réunies avec d'autres professions au sein d'un *Comité régional des utilisateurs de la recherche* (CRU) qui sert d'interlocuteur permanent pour l'orientation et l'évaluation des activités de 1TER à Mopti. Une fois par an, en mars ou avril, les résultats de l'observatoire ont été présentés aux membres de ce CRU, sous forme d'exposé oral, de graphiques et de photos. A partir de 1998, le contenu multimédia a pu être déroulé sous leurs yeux à chacune des séances annuelles, d'abord sur petit écran puis sur grand écran grâce à un projecteur. Deux catégories de réactions ont été enregistrées à ces occasions : la première a consisté en un accord exprimé de façon quasi-systématique, avec les tendances affichées par l'observatoire concernant l'évolution des captures par sortie, les abondances relatives des classes de taille de poissons et les prix des différents types de produits ; la seconde, plus affective, a été une réaction de fierté et de remerciements exprimés aux acteurs de l'observatoire pour l'importance et la « beauté » (sic) du travail effectué autour du thème qui constitue leur activité professionnelle.

42 Au-delà de ces deux groupes de bénéficiaires, les informations produites ont été diffusées par duplication d'un cédérom à plusieurs centaines d'exemplaires et par deux adresses Internet renvoyant à des serveurs respectivement basés au Mali et en France (www.ier.ml/peche ou www.orleans.ird.fr/ext/pechedcn). L'intérêt majeur présenté par cette dernière forme de dissémination est qu'il offre aux utilisateurs *la possibilité de réagir* en déclenchant par un simple clic sur la page d'accueil une fenêtre d'émission d'un message e-mail en direction de l'un des responsables scientifiques de l'observatoire. De nombreux e-mails ont ainsi été reçus, faisant état notamment de demandes

d'informations complémentaires ou de demandes d'autorisation de création de liens en direction des pages web de l'observatoire.

Enseignements généraux

43 Après six ans de fonctionnement du dispositif, il est possible de tirer de l'expérience menée un certain nombre d'enseignements susceptibles d'alimenter une réflexion méthodologique d'intérêt général pour la mise en place des observatoires environnementaux. Ces enseignements concernent principalement le *processus d'élaboration des indicateurs.* Cette question fait l'objet d'une abondante littérature, notamment depuis la Conférence de Rio et le lancement de l'Agenda 21 qui a incité de nombreux experts à se lancer à la recherche d'un cadre méthodique permettant de guider la définition du meilleur corpus d'informations à produire régulièrement pour le suivi d'un socio-écosystème – avec pour finalité de soutenir la prise de décision nécessaire au développement durable. Un exemple en est fourni par Garcia et Staples (2000) dans le domaine de la pêche. Ces travaux témoignent d'une approche essentiellement *top-down* qui laisse peu de place à la question de l'implémentation des indicateurs, c'est-à-dire de leur faisabilité technique et de leur adéquation réelle aux besoins et aux capacités d'appréhension des utilisateurs. Or ce sont ces aspects qui posent problème dans le contexte de la mise en place effective d'un suivi ou d'un observatoire d'intérêt local. Ignorer cela peut conduire à plusieurs types de démarches irréalistes, comme celle de vouloir plaquer sans souci d'adaptation un modèle « universel » de structuration de l'information sur un contexte particulier. Toute aussi peu réaliste est la démarche (fréquemment affichée) qui prétend boucler l'étape d'identification des indicateurs dès le début d'un projet. Certes, il faut aborder très tôt l'analyse des besoins en information exprimés par les bénéficiaires ciblés et c'est très tôt aussi qu'il faut lister les processus et les phénomènes qui méritent d'être l'objet d'un suivi (et sur lesquels il conviendra donc de faire porter l'effort d'observation et de production d'information). Mais il semble par contre présomptueux de vouloir établir *a priori* la description détaillée et définitive d'une liste d'indicateurs sans disposer d'un jeu de données réelles. Cela pour trois raisons au moins.

44 La première est qu'il n'est pas aisé de savoir au départ quelles données vont permettre d'obtenir des « résultats parlants » sur un phénomène que l'on veut suivre ou décrire, surtout si c'est l'élément humain qui est en cause : ainsi, plusieurs questions apparemment proches ou logiquement corrélées vont avoir des *qualités de réponse* bien différentes, et il n'est pas rare que certaines ne fournissent qu'un bruit peu interprétable (voir par exemple les déconvenues rencontrées avant de parvenir à la statistique présentée en figure 7). En général, une seule d'entre ces questions sera finalement « élue » et exploitée en routine pour devenir « l'indicateur » du phénomène en question ; mais seul l'essai mené en conditions réelles, souvent sur plusieurs années, pourra dire laquelle peut assumer ce rôle !

45 La seconde est que l'on ne parvient généralement pas du premier coup – et en tous cas pas avant de disposer d'un jeu de données réelles – à synthétiser l'information de façon « techniquement » adéquate pour aboutir à quelque chose qui soit acceptable à la fois sur le plan de la qualité statistique et sur le plan de l'adéquation au modèle cognitif de l'utilisateur (Laloë *et al.*, 2001). Il est d'ailleurs prudent, avant toute conclusion définitive, de tester (comme nous l'avons fait) la façon dont l'utilisateur appréhende effectivement

l'information qui lui est présentée. En fonction de cela, des améliorations pourront, le cas échéant, être apportées. On conviendra que la réalisation complète de cet aller et retour entre perfectionnement des traitements et test de lisibilité de leurs produits est une affaire qui peut prendre de nombreux mois.

46 La troisième est qu'il n'est en général pas possible de mettre immédiatement en place, autour d'une synthèse de données, les valeurs de référence (valeurs moyennes ou normales, bornes, seuils critiques etc..) qui sont indispensables pour guider l'interprétation et l'utilisation de l'information fournie – notamment par rapport à des décisions à prendre. Seules les années qui passent et l'accumulation de données (voir cas de la figure 9) vont permettre la mise en place de tels éléments.

47 Pour ces trois raisons, il apparaît nécessaire d'opter pour une stratégie progressive et itérative dans la définition et l'adoption des indicateurs. Cela revient à considérer que les présentations statistiques et autres « synthèses de données » vont devenir *peu à peu* des indicateurs, au fur et à mesure que les plus opaques et les plus bruitées sont mises de côté, que celles qui restent voient leur lisibilité améliorée (sur la base des réactions des utilisateurs) et que le recul des ans permet de mettre en place la composante référentielle qui les rendra utilisables. Notons enfin que, par rapport à ce cheminement assez long qui conduit à l'élaboration des produits d'un observatoire, l'expérience menée au Mali a montré le grand intérêt qu'il y avait à recourir aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC). Du fait de leur flexibilité (qui permet un remodelage rapide des produits) et grâce aux portes qu'elles ouvrent vers l'interactivité, ces technologies sont apparues aptes à jouer un rôle de catalyseur du processus d'aller et retour entre producteur et utilisateur de l'information, favorisant du même coup la maturation des formats de l'information et celle des indicateurs en particulier, comme l'avait annoncé le travail de réflexion de Mullon et Piron (*ibid.*).

Perspectives locales et conclusion

48 Les activités menées pendant six années autour de la mise en place d'un dispositif expérimental d'observatoire ont débouché sur plusieurs niveaux d'acquis qui devraient dans les prochaines années contribuer à une meilleure gestion de l'environnement et des ressources naturelles au Mali et, singulièrement, dans le DIN. Tout d'abord, il est permis de considérer que, par la maîtrise acquise dans le maniement des concepts opératoires et des outils, les deux organismes nationaux qui ont participé directement à l'expérience, à savoir l'IER et l'OPM, sont aujourd'hui armés pour participer à un projet de plus grande extension, projet dont on souhaite qu'il soit cette fois-ci inséré dans un cadre institutionnel pérenne. Il faut mentionner également le bénéfice que les utilisateurs finaux ont retiré de l'expérience en termes d'entraînement à la lecture d'informations statistiques et environnementales présentées de multiples manières et sur de multiples supports. Qu'ils aient été destinataires du bulletin de par leurs fonctions institutionnelles ou bien qu'ils aient été invités à des présentations de résultats lors des sessions annuelles du « Comité régional des utilisateurs de la recherche », tous les bénéficiaires cibles ont eu l'occasion de développer leurs capacités à interpréter et à critiquer les informations produites et à exprimer, le cas échéant, de nouveaux besoins en la matière. Ceci doit leur permettre de participer de façon active aux études de spécification du futur grand observatoire. Par rapport à cette perspective attendue, le projet mené a permis par ailleurs de soulever précocement un grand nombre de problèmes et de les résoudre en

adoptant et en validant différentes options en matière de méthodes et d'outils. Ces avancées entraîneront sans doute d'importants gains de temps au moment du lancement d'un observatoire « officiel » du fleuve Niger. En contrepoint de ces acquis et de ces espoirs, nous rappellerons que l'établissement d'un observatoire, qu'il soit expérimental ou officiel, soulève toujours (ici comme ailleurs) de nombreuses questions et difficultés.

49 Rappelons tout d'abord que, sur le plan strictement technique et opérationnel, les possibilités de construction et de maintenance d'un SI sont tributaires de la qualité de l'environnement physique (infrastructures, fourniture d'énergie et qualité du réseau de télécommunications) et de celle de l'environnement humain, notamment de la disponibilité de compétences informatiques sur le marché du travail local. Par rapport à ces critères, il est clair qu'un projet localisé à Mopti, petite ville sahélienne très excentrée (650 km de la capitale), a constitué un cas d'expérience limite. Un autre facteur de fragilisation, plutôt d'ordre politique, découle du fait que la pêche continentale ne contribue que de façon très modeste aux recettes publiques – puisque la plupart de ses acteurs se cantonnent dans le secteur informel. Il est donc compréhensible que l'État hésite en retour à budgétiser un effort de suivi permanent, déclenchant du même coup la réticence des bailleurs de fonds, peu désireux d'investir dans des activités dont la pérennité n'est pas assurée[11]. Même si les contraintes et écueils précédents parviennent à être levés, la mise en place d'un observatoire permanent ne garantira pas une utilisation effective de l'information produite dans le sens d'une meilleure gestion de l'environnement et des ressources naturelles. En effet, cette utilisation dépend *in fine* davantage de la sensibilité des gestionnaires et, surtout, des dispositions institutionnelles, en particulier de l'existence d'un véritable système d'aménagement qui n'est aujourd'hui qu'en phase d'émergence suite aux réformes de décentralisation.

50 Cependant et pour conclure sur une note positive, il ne faut pas oublier que la diffusion et la disponibilité de l'information peuvent également agir de façon indirecte sur les politiques publiques, notamment par l'entremise de la pression des usagers, consommateurs et simples citoyens. On peut y voir une raison pour faire en sorte que les observatoires environnementaux soient conçus comme des dispositifs ouverts sur le monde.

Remerciements

51 Ce travail a bénéficié d'un soutien important accordé par le contrat européen INCO-DC n° 961620 (SIMES) et par la convention *WiseDev* (programme /n/ôDev de la Banque mondiale).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bazigos G. P., 1983 – *Design of fisheries statistical surveys inland waters.* FAO Fish. Tech. Paper, Rome, 133 p.

Breuil C, Quensière J., 1995 – *Éléments d'une politique de développement durable des pêches et de la pisciculture au Mali.* Rapport du projet Pamos, FAO, MLI/91/005.

Fay C,2000 – « Des poissons et des hommes : pêcheurs, chercheurs et administrateurs face à la pêche au Maasina ». *In* Chauveau J.-P., Jul-Larsen E., Chaboud C. (éd.) : *Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest,* CMI-IRD-Karthala : 165-166.

Garcia S. M., Staples D. J., 2000 – Sustainability reference Systems and indicators for responsible marine capture and fisheries : a review of concepts and elements for a set of guidelines. *Marine and Freshwater Research,* 51 :485-491.

Kassibo B., 2000 – « Pêche continentale et migration : contrôle politique et contrôle social des migrations de pêche dans le delta central du Niger (Mali) ». *In* Chauveau J.-P., Jul-Larsen E., Chaboud C. (éd.) : *Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest,* CMI-IRD-Karthala : 231-246.

Laë R., 1995 – Climatic and anthropogenicc effects on fish diversity and fish yields in the central delta of the Niger river. *Aquatic Living Resources,* 8 : 43-48.

Laë R., Morand P., Herry O, Weigel J. Y., 1994 – « Méthodes quantitatives : échantillonnage et traitement des données ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 449-477.

Laloë F., Lauckner B., Piron M., Rahim K., 2001 – Surveys and decisions in the context of multidisciplinary programmes. Estimators and indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 87 : 129-140.

Morand P., Poncet Y., Niaré T., 1996 – « Le montage d'un système de suivi de la pêche dans le delta central du Niger : intérêt et application de l'approche "système d'information" ». *In : Méthodes d'étude des systèmes halieutiques et aquacoles,* coll. Colloques et séminaires, Orstom, Paris : 27-31.

Morand P., Ferraris J., 1998 – « L'évolution des systèmes d'enquête des pêches artisanales en Afrique de l'Ouest, entre questions halieutiques et solutions méthodologiques ». *In* Laloë F., Perrier X. (éd.) : *De l'observation à l'analyse, implication de la biométrie dans les pays en développement,* Société Française de Biométrie, 15 : 43-60.

Morand P., Bousquet F., 2000 – « Simulation de l'exploitation de ressources (fleuve Niger) ». *In* Gillon Y., Chaboud C, Boutrais J., Mullon C. (éd.) : *Du bon usage des ressources renouvelables,* IRD, Paris : 375-392.

Mullon C, Piron M., 1998 – « Sur la méthodologie de mise en place des observatoires socio-économiques ». *In* Laloë F., Perrier X. (éd.) : De *l'observation à l'analyse, implication de la biométrie dans les pays en développement,* Société Française de Biométrie, 15 : 61-77.

Quensière J. (éd.), 1994 – *La pêche dans le delta central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Weigel J. Y., Stomal B., 1994 – « Consommation, transformation et commercialisation du poisson ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 165-190.

Welcomme R. L., 1979 – *Fisheries ecology of floodplain rivers.* London-New-York, Longman, 317 p.

NOTES

1. Bien qu'il s'agisse en premier lieu d'une « pêche commerciale » destinée à générer des revenus, le poisson péché fournit aussi la majeure partie de l'approvisionnement en protéines des familles.
2. Institut d'économie rurale, en charge de la recherche agronomique au Mali.
3. On rassemblera sous ce terme un certain nombre de personnes, d'instance et de structures opérationnelles : le conseiller au développement de la région, la Chambre régionales et nationales, un certain nombre d'ONG et de projets de développement.
4. Cette équipe est issue de celle qui avait participé au programme de recherche pluridisciplinaire mené durant les années 1986-1993.
5. Ce modèle a été décrit en détail dans le rapport n° 6.2 (annexe A et B) de la convention INCO-DC SIMES.
6. En particulier celles qui sont rassemblées dans l'ouvrage de synthèse (Quensière, *ibid.*) du programme de recherche mené de 1986 à 1993.
7. Kodio A., Morand P., Diénépo K, Laë R., ce volume – « Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes : implications en terme de gestion ». *In : partie 3.*
8. Ces prix diffèrent de ceux pratiqués plus en aval dans la filière de commercialisation, par exemple sur le port de Mopti.
9. L'Opération pêche de Mopti contrôle et enregistre, à des fins administratives, tous les lots de poissons transitant par le port de Mopti, ce qui correspond à une proportion importante bien que minoritaire (de l'ordre de 1/3 de la quantité totale de poissons capturée dans la région.
10. Association des pêcheurs résidents au Mali et Association pour le développement de la pêche et de la pisciculture au Mali.
11. Dans le cas présent, cet obstacle semble toutefois se dissiper grâce à des recommandations récentes (début 2002) émanant du Ministère du développement rural et qui préconisent le transfert de l'observatoire depuis l'IER en direction de l'OPM, structure qui a, plus que la recherche, vocation à gérer sur le long terme des activités de suivi.

AUTEURS

PIERRE MORAND

Biostatisticien. IRD, SIH-Ifremer, Av. Jean Monnet, 34200 Sète, France, morand@ird.fr

AMAGA KODIO

Halieute. IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali, Amaga.Kodio@ier.ml

TIÉMA NIARÉ

Biologistes. IER, CRRA Mopti, BP 205, Mopti, Mali

Réflexions sur les systèmes d'information socio-économiques et environnementaux

Le cas d'un projet d'observatoire des pêches en Côte d'Ivoire

Marie Piron et Bruno Romagny

1 Le secteur de la pêche en Côte d'Ivoire a fait l'objet d'un grand nombre d'études et de programmes de recherche sans vraiment associer les aspects halieutiques, socio-économiques et environnementaux. Or une telle approche interdisciplinaire apparaît aujourd'hui indispensable pour appréhender le fonctionnement complexe des systèmes d'exploitation halieutiques en zone tropicale. Conscient de l'importance du couplage de ces approches, le Centre de recherches océanologiques d'Abidjan (CRO) a constitué un programme (1998-2001) pour étudier la filière pêche maritime en Côte d'Ivoire en collaboration avec l'Institut de recherche pour le développement (IRD), autour de deux objectifs principaux :

- analyser les formes et les facteurs de compétitivité (ou de non compétitivité) des différents opérateurs et types d'exploitations au sein de la filière pêche maritime ;
- évaluer le poids de la filière dans l'économie ivoirienne.

2 Or pour répondre véritablement aux attentes liées à la mise en place d'une politique de développement durable du secteur des pêches en Côte d'Ivoire, il s'est avéré que l'analyse de filière devait déboucher sur la constitution d'une structure pérenne de collecte, traitement et restitution de l'information, c'est-à-dire d'un *observatoire.*

3 Une politique sectorielle[1] est déjà définie, mais elle doit se doter d'un ensemble d'instruments de suivi et de gestion, ceci tant pour améliorer la rentabilité des activités d'exploitation et de valorisation que pour veiller au respect des contraintes de viabilité des écosystèmes aquatiques. Les objectifs généraux mentionnés dans le plan directeur de développement agricole (1992-2015) concernent l'amélioration de la productivité et de la compétitivité, la recherche de l'auto suffisance et de la sécurité alimentaire, la diversification des exportations et des sources de revenus au niveau des exploitants. Pour ce qui concerne plus spécifiquement les productions halieutiques, le plan directeur

prévoit le développement des pêches maritimes et lagunaires par l'exploitation rationnelle de toutes les potentialités halieutiques ainsi que la valorisation optimale des plans d'eau intérieurs par l'aquaculture. La mise en œuvre effective d'une telle politique est conditionnée, entre autres choses, par la capacité des organes d'appui à détecter et à identifier avec promptitude les problèmes rencontrés par les acteurs économiques (pêcheurs artisans, armateurs industriels, mareyeurs, transformateurs, importateurs...) puis à y apporter des réponses adéquates.

4 Face à ces défis et au regard de plusieurs expériences déjà engagées en Afrique (Guinée, Sénégal, Mauritanie...), un certain nombre de réflexions sur l'intérêt de créer un observatoire des pêches maritimes en Côte d'Ivoire se sont progressivement imposées et ont enrichi la problématique initiale du programme de recherche. Celle-ci a reposé sur une méthodologie classiquement adoptée pour l'analyse de la filière pêche dans les pays en développement (PED) : valorisation des données existantes, collecte d'informations complémentaires par des enquêtes de terrain (enquêtes-cadre et suivi en routine de systèmes de production et de commercialisation), constitution de bases de données permettant la saisie, l'archivage et le traitement de l'information, production d'indicateurs (compétitivité, valeur ajoutée, etc.). La proposition de constitution d'un observatoire suscite des réflexions sur la portée d'un tel dispositif dans le contexte d'un PED. Celles-ci s'inscrivent dans la suite de diverses initiatives sur les observatoires (Mullon *et al.*, 1998) et de travaux sur les enquêtes et systèmes d'information dans le domaine des sciences sociales (Piron, 1999). Il nous semble qu'un observatoire, surtout lorsqu'il est à l'interface des sociétés et de l'environnement, s'apparente à un système de veille. Pour être efficace, il doit s'ouvrir sur les nouveaux développements en matière de système d'information, tels que ceux relatifs aux systèmes d'entreprise. Dans un contexte de PED, ceci nous amène à considérer autrement les méthodes de conception, collecte et traitement de l'information.

5 Dans une première partie, nous rappellerons l'argumentaire de motivation de la création d'un observatoire des pêches en Côte d'Ivoire. Nous montrerons, dans une deuxième partie, comment émergent les multiples aspects de la notion de « veille », notion qui nous semble caractériser ce que l'on peut attendre d'un système d'information concernant la pêche. Nous verrons alors quelles sont les exigences méthodologiques, parfois contradictoires, que doit résoudre tout observatoire dans un contexte de PED. Enfin ces exigences nous amèneront, dans une troisième partie, à envisager le passage des systèmes d'enquêtes aux systèmes d'information décisionnels et à décrire les changements qui s'opèrent actuellement dans le domaine de l'information et de son traitement.

Vers un observatoire des pêches

Motivations pour la création d'un observatoire des pêches...

6 Sur le continent africain, la mise en place d'observatoires des pêches est d'ores et déjà effective dans un certain nombre de pays comme Madagascar (observatoire de la pêche crevettière), la Guinée (Chavance et Diallo, 1995), le Sénégal (République du Sénégal, 1998), le Mali (Morand *et al.*, 1996), etc. Sous d'autres appellations, on peut citer « la cellule d'appui » du ministère de la pêche en Mauritanie, qui assure depuis plus de dix ans le même type de fonction. Des observatoires comparables sont également en phase de réflexion dans plusieurs pays comme la Guinée Bissau, le Mozambique ou le Gabon

(Chavance et Romagny, 1998). Un projet régional de l'Union européenne (Systèmes d'information et d'analyse sur les pêches[2]) prévoit d'ailleurs le renforcement de cette approche en relation avec la Commission sous-régionale des pêches (CSRP[3]).

7 Cependant depuis plusieurs années, l'activité de pêche dans la zone maritime ivoirienne fait l'objet de suivis mis en place par un ensemble de partenaires répondant à des logiques et à des finalités différentes : Direction des productions halieutiques (DPH), Institut national de la statistique (INS), CRO, IRD... Ces institutions sont fortement impliquées dans la collecte, le traitement et la validation des données, avec une volonté clairement exprimée d'améliorer la qualité des données collectées et leur valorisation. De tels suivis statistiques permettent de disposer aujourd'hui d'un grand nombre d'informations : captures et débarquements par espèces et par types de pêche, efforts de pêche, prix pratiqués, caractéristiques des flottilles, importations et exportations de produits de la mer...

8 Mais ces informations ne sont pas homogènes et ne font pas toujours l'objet d'un traitement systématique. Cette « base » d'informations est donc bien fournie mais elle est d'une qualité variable, pas toujours accessible ni synthétique. Il est ainsi difficile d'avoir une vision globale de l'activité pêche et de son évolution au niveau national.

9 Le principal objectif visé par l'observatoire des pêches en Côte d'Ivoire est de coordonner et de compléter l'action des différents organismes en charge actuellement du suivi de cette filière en assurant la valorisation des données disponibles et, du même coup, celle des différents acteurs de ce suivi (professionnels, enquêteurs, scientifiques, etc.). L'observatoire ne doit en aucun cas se substituer aux organismes de recherche ou aux institutions ivoiriennes déjà en charge du suivi ou de la gestion des pêches. Il doit être perçu comme un lieu de concertation et de coordination des efforts de chacun pour produire l'information jugée utile.

... à l'interface de l'environnement et de la société

10 Un observatoire des pêches nécessite la mobilisation d'informations qui relèvent de domaines d'étude différents, ce qui pose le problème délicat de la mise en correspondance de données émanant de sources diverses, collectées le plus souvent sans aucune concertation préalable. Il est pourtant clair que le recoupement et la confrontation de ces données de diverses origines seraient de nature à renforcer leur caractère scientifique ainsi que la validité des résultats diffusés. C'est pourquoi un tel observatoire doit pouvoir appréhender de façon conjointe des variables qui relèvent aussi bien du champ des sciences sociales (prix, coûts, revenus, taxes, systèmes de partages, relations communautaires, etc.) que de celui de la biologie des pêches (données environnementales, prises par unité d'effort, évaluation des stocks). Il s'agit donc d'être à même de combiner plusieurs échelles temporelles et spatiales et plusieurs modes de recueil de données relatifs aux différentes unités d'observation et d'analyse en usage. Il apparaît ainsi que l'étude scientifique des systèmes socio-écologiques complexes (Legay, 1997), tels que les pêcheries en zone tropicale, est confrontée à d'importantes difficultés théoriques et pratiques. Sur ce dernier aspect, on peut dire que les données sont généralement difficiles à obtenir, que leur acquisition est coûteuse et que leur qualité n'est pas toujours à la hauteur des objectifs que l'on s'était fixé. C'est pourquoi, malgré les progrès technologiques et méthodologiques récents, il reste difficile de produire des

indicateurs permettant de relier en continu la pression exercée sur un milieu et la réponse à cette pression en termes d'évolution de l'état du milieu.

11 La gestion durable des ressources naturelles renouvelables se situe par définition à l'interface des relations entre les sociétés et leur environnement (Weber *et al.*, 1990). Un observatoire fonctionnant sous la forme d'un réseau d'échange d'informations permet de mieux appréhender un ensemble de phénomènes régis par de multiples variables et gouvernés par des facteurs explicatifs intervenant à différentes échelles spatio-temporelles. A chaque échelle d'observation, du local au global, est associée un niveau particulier de décision individuelle ou collective. L'information, selon son degré de diffusion et de fiabilité (imparfaite, incomplète, asymétrique), se trouve alors au cœur des processus de décision en tant que base de discussion entre acteurs au sein d'instances de négociation. A une théorie du décideur unique opérant des choix rationnels s'oppose ainsi aujourd'hui une conception « de la décision comme résultat d'un processus d'interaction entre acteurs individuels et/ou collectifs ayant des représentations et des "poids" différents dans la négociation » (Weber, 1995). Cela complique bien sûr la tâche de l'observatoire, qui se retrouve confronté au défi de produire des indicateurs pertinents alors que le système de décision n'est pas simple ni clairement délimité.

L'observatoire, un instrument de veille...

... polyvalent

12 L'observatoire des pêches en Côte d'Ivoire devrait apparaître finalement comme un instrument de veille documentaire, économique et stratégique. Dans le contexte de montée en puissance de nouveaux principes à l'égard des problèmes environnementaux, comme le principe de précaution, illustrés par les recommandations du code de conduite pour une pêche responsable (FAO, 1995), les décideurs publics et privés sont devenus très sensibles à une gestion plus attentive et plus précoce du risque environnemental, basée sur la traque des « signaux faibles » (Faucheux et Hue, 2000). Une veille efficace doit pouvoir repérer ces signaux, qu'ils soient issus de la société civile, de la communauté scientifique, des changements technologiques ou des évolutions réglementaires... Dans le tableau 1, nous décrivons pour l'observatoire des pêches de Côte d'Ivoire ce que pourraient être les différentes méthodes de veille en fonction de l'objet et des objectifs qui leur seront assignés. Il faut garder à l'esprit que ces différents niveaux possibles de veille (ou d'objectifs) sont reliés entre eux et qu'ils peuvent représenter les étapes d'un *continuum.*

Tableau 1. L'observatoire des pêches en tant qu'outil de veille (adapté de Faucheux et Hue, 2000).

Objets	Objectifs		
	Veille documentaire (recueil et transmission de l'information)	Veille économique (compétitivité)	Veille stratégique (alerte)
Veille sur la demande sociale (société civile)	Implication dans les projets de développement de la pêche artisanale (PMEDP, FAO). Promotion raisonnée des approches participatives, insertion dans des réseaux d'ONG, des GVC, syndicat des armateurs, des mareyeurs, associations de consommateurs, groupes de pression, rôle des femmes…	Etudes de marché, enquêtes sur la consommation des ménages	Tableaux de bord Indicateurs
Veille scientifique	État des lieux et analyse des données disponibles. Confrontation des données entre elles. Valorisation et diffusion des informations collectées régulièrement, insertion dans des réseaux internationaux de recherche, formation…	Enquêtes de terrain (pêche industrielle et artisanale) Compétitivité prix, volume, qualité Élaboration de comptes de production et d'exploitation par type d'agent, analyse de la création et de la répartition de la valeur ajoutée, compte satellite pour la pêche…	Modélisation à des fins de prévision, simulations, représentation des connaissances (SIG, multi-agents, etc.). Expertises ponctuelles
Veille technologique	Notes de conseillers, poste d'expansion économique de l'ambassade de France, études et rapports techniques, évolution des techniques de pêche…	Bases de données relationnelles (SGBD) Site internet de l'observatoire	Vers une plus grande automatisation des traitements, de la collecte… Data Mining Benchmarking
Veille réglementaire	Analyse des textes existants, des conflits de pêche passés ou récurrents, des solutions apportées. Capacités de surveillance des côtes et de respect des textes, lois et règlements sur la pêche, droits coutumiers…	Bases de données réglementaires (textuelles)	Anticipation de nouvelles normes écologiques, éco-labellisation, accords internationaux…

13 Un système de veille se voit généralement confier un rôle d'alerte auprès des décideurs et des responsables politiques. Il devient alors un outil opérationnel d'aide à la décision, permettant d'éviter des situations de crise. On parlera alors de *veille stratégique* dans la mesure où la transmission de l'alerte doit être en prise directe avec le niveau décisionnel, notamment pour des raisons de responsabilité. En effet, le récepteur du « signal faible » est ici le décideur qui doit disposer d'une information claire, synthétique, actualisée et fiable. Parallèlement, il s'agirait de mettre en place une *veille documentaire.* Celle-ci peut prendre diverses formes selon l'objet auquel elle s'applique. Il peut s'agir d'une synthèse raisonnée des connaissances disponibles sur la filière pêche maritime en Côte d'Ivoire, notamment à travers une bibliographie détaillée des travaux scientifiques et un état des lieux des informations statistiques. Une telle veille peut aussi jouer le rôle de courroie de transmission entre les grands projets internationaux de développement et de lutte contre la pauvreté (comme le PMEDP[4]) et les communautés ou les groupes d'acteurs concernés.

14 Le noyau dur de l'observatoire pourrait porter sur l'étude de la compétitivité des différents segments de la filière pêche maritime. La capacité des acteurs à soutenir la compétition s'exprime par des indicateurs comme les parts de marché (tonnages débarqués, chiffres d'affaire) ou le taux de rentabilité. On parle à ce niveau de compétitivité révélée. Il convient alors de rechercher les facteurs explicatifs des différences de performances entre acteurs ou filières. On distingue généralement la compétitivité prix qui s'intéresse à la structure des coûts de production et aux écarts de prix entre les produits, de la compétitivité volume (possibilité de fournir régulièrement un marché) ou encore de la compétitivité qualité (modes de conservation du poisson, respect des normes sanitaires). Au-delà de ces facteurs explicatifs de type microéconomiques, d'autres facteurs plus macro-économiques sont à prendre en compte dans cette analyse de compétitivité, comme le niveau et les variations de la demande en

produits halieutiques, ou encore les interventions de l'État dans la filière pêche. Il est donc indispensable de mobiliser de nombreuses données émanant de sources différentes. Celles-ci sont en partie disponibles auprès des institutions ivoiriennes en charge du secteur des pêches (CRO et DPH principalement), des centrales de bilan, mais il faut également avoir recours à des enquêtes de terrain complémentaires. On procède à des enquêtes d'une périodicité variable selon les objectifs fixés a priori (recensements annuels ou pluriannuels des unités et des engins de pêche, enquêtes en routine pour l'estimation des ventes hors-criée, études de marché ponctuelles sur la commercialisation des produits de la mer, entretiens avec les armateurs, etc.). Cette *veille économique* doit se préoccuper également de l'ensemble des signaux susceptibles de rendre compte d'évolutions significatives au niveau de l'état de la ressource, mais aussi au niveau des mouvements de la demande sociale, de la technologie et de la réglementation.

15 Ainsi le montage d'un observatoire des pêches passe par la définition d'un noyau, d'un cœur permanent, qui dans le cas de la Côte d'Ivoire pourrait être centré sur ces notions de compétitivité. Le cœur de l'observatoire doit répondre à des questions jugées utiles pour l'ensemble des participants, mais aussi à des impératifs de simplicité et d'économie de moyens. La constitution de ce cœur doit être établie à partir d'une charte entre les différents acteurs de l'observatoire, des producteurs aux utilisateurs des données. L'élaboration d'une telle charte est une étape difficile et longue, car il faut établir un agrément entre un grand nombre de partenaires, mais indispensable car elle est le garant de la pérennité du système d'information. La charte doit donc délimiter clairement le cœur de l'observatoire (modalités techniques et financières de mobilisation, collecte, traitement et analyse des données pour répondre à une problématique donnée), mais aussi définir les conditions de modification de ce cœur, les droits et devoirs communs à tous les partenaires, les productions et les sorties de l'observatoire (publications, site Internet), les avenants précisant les apports de chaque partenaire... Des projets « satellite » (études de cas, expertises particulières, etc..) pourront venir compléter ce cœur. Mais ils n'auront qu'une durée limitée et ne concerneront que des opérations ponctuelles relatives à un problème précis (projet d'investissement privé, études de faisabilité, etc.).

... mais aussi ambivalent

16 Aussi, à ce niveau d'attente et de cadrage pour la mise en place d'un observatoire des pêches en Côte d'Ivoire, on perçoit bien le dépassement progressif du dispositif classique de mobilisation, d'analyse et de restitution de l'information, qu'il est maintenant convenu d'entendre sous le terme d'observatoire. En plus des qualités de permanence du système, de pertinence de l'information, de cycle court entre le recueil et la production, d'ouverture du dispositif vers un public élargi (Mullon et Piron, 1998), il apparaît que la principale spécificité d'un observatoire est bien d'être « un système d'information réactif, permanent, capable de saisir rapidement évolutions et changements et permettant le suivi de dynamiques » (Mullon *et al.*, 1998). Dans un contexte de pays en développement, un observatoire, en tant qu'outil de veille, nous apparaît alors comme un instrument ambivalent qui doit résoudre les contradictions apparentes entre automatisation (ou systématisation) et opportunisme d'une part, et entre rigueur et souplesse d'autre part.

17 L'observatoire engendre la production de données régulières sur une question précise constituant ainsi le noyau dur du dispositif ; il s'agit de *systématiser* – voire *d'automatiser* –

la collecte. Mais il nécessite également une capacité à absorber l'information, quelle que soit sa forme (enquêtes, documents, entretiens, etc.), et à adopter une attitude « *opportuniste* » vis-à-vis de l'information. En effet, toute restitution rapide de l'information et toutes propositions d'éléments d'aide à la décision font l'objet d'analyses approfondies s'appuyant sur diverses formes d'informations. Il faut comprendre les mécanismes, les fonctionnements, identifier les transformations (sociales, économiques, environnementales) pour mettre en place les « bons » indicateurs, émettre des hypothèses et faire des suggestions utiles. Aussi, au delà de la question d'aide à la décision, c'est toute l'aide à la connaissance qui est essentielle (Piron, 1996). L'automatisation et surtout la systématisation passent par une certaine *rigueur,* propre à la théorie statistique classique des sondages, garante a priori de la fiabilité des informations. A cela s'oppose une nécessaire *souplesse* dont doit faire preuve le dispositif (adaptabilité dans le suivi de processus variables et incertains, réactivité, adaptation de la méthodologie au terrain, absorption de la connaissance sur le sujet). On admet alors mieux la co-existence de différents systèmes de suivis pour les mêmes statistiques ou du moins les mêmes informations recherchées. Ainsi, concernant les données de débarquement, le système de suivi peut faire référence autant à celui des armateurs qui intègre toute une connaissance très « *qualitative* » qu'à ceux plus institutionnels qui reposent sur des données « *quantitatives* » dont la fiabilité n'est parfois qu'apparente.

18 La notion même d'indicateur, qui renvoie à la qualification de mesure quantifiée, prend un sens entre *automatisation* et *opportunisme.* On perçoit bien l'intérêt de coupler ces différentes approches pour en améliorer la fiabilité et pertinence, ce qui engendre alors des développements méthodologiques intéressants mais aussi des risques de conflits de compétence et des enjeux de pouvoirs entre les différentes institutions qu'il faudra prendre en compte pour le passage du « théorique » à « l'opérationnel ». Ces ambivalences montrent toute la difficulté du montage opérationnel de ces dispositifs en PED. Elles mettent en évidence le glissement qui s'opère actuellement entre deux modes de mobilisation de données, les systèmes d'enquêtes (largement privilégiés dans les PED) et les systèmes d'information décisionnels (domaine de recherche en pointe, notamment dans le secteur privé). S'ensuit alors une nouvelle manière de considérer et de traiter l'information, tirant mieux partie des développements méthodologiques récents en matière de systèmes d'information (Bosc *et al.*, 2001).

L'impact des développements méthodologiques récents

Des systèmes d'enquêtes aux systèmes d'information décisionnels

19 Avec l'observatoire des pêches en Côte d'Ivoire, on entre dans une logique d'automatisation aussi bien de la collecte et de la mobilisation des données que du traitement et de la restitution de l'information, tout en tenant compte de l'historique de ces procédures. D'une manière générale, un observatoire présenté comme un système de veille s'apparente aux systèmes d'information décisionnels (Fogelman-Soulie, 2001) tels qu'ils sont développés et mis en place au sein des entreprises. Globalement, ces développements concernent l'ensemble des domaines scientifiques qui traitent de la mobilisation, de l'analyse, de l'estimation, de la prévision et de la synthèse de grands ensembles de données. Parmi les nouvelles technologies développées, on peut citer : les

ensembles de base de données brutes (*data mart*) et de bases de données finalisées (*data warehouse*), l'analyse exploratoire des bases de données (*data mining*), l'analyse automatique des textes (*text mining*), l'analyse des données en temps réel (*OLAP*), la gestion des connaissances internes à l'entreprise (*knowledge management*), l'intelligence économique et la connaissance des marchés extérieurs à l'entreprise (*competitive intelligence*). Celles-ci s'appuient sur les capacités d'enregistrement quasiment illimité d'ensemble de données diverses et variées, structurées ou non, allant des mesures (quantitatives) aux textes (qualitatifs). Il s'agit alors d'en assurer le traitement non seulement dans un but informatif mais surtout dans une perspective décisionnelle utile au fonctionnement de l'entreprise (Deheuvels et Marcotorchino, 2000).

20 Transposant cette démarche à un contexte d'observatoire dans un pays en développement, l'automatisation des procédures est difficile et le recours aux enquêtes par sondage reste incontournable en l'absence de base de données statistiques. Des systèmes d'enquêtes sont ainsi mis en place, allant des enquêtes à passages répétés pour les données socio-économiques à des relevés systématiques par capteurs pour les données environnementales. Les procédures automatiques de recueil de données sont cependant plus difficiles à concevoir lorsqu'elles concernent des activités humaines. En fait, les techniques d'enregistrement automatique commencent tout juste à se développer dans ce domaine, visant notamment l'exploitation des fichiers d'entreprises (on parle dans ce cas de *données transactionnelles*). Sur ces bases, l'objectif dans la mise en place d'un observatoire sera de tendre progressivement vers des procédures automatisées. Car c'est la seule façon de minimiser le recours aux enquêtes à passages répétés, qui sont difficiles à gérer dans la longue durée. C'est pourquoi on dit parfois que la durée de vie des données d'enquête est courte au contraire de celle des données transactionnelles (Lebart, 2001). Aussi, là où il fallait mener une enquête pour obtenir des renseignements, il peut exister maintenant des bases de données qui contiennent ces informations. L'enquête est alors considérée comme un complément d'information. Elle n'est plus envisagée comme une opération isolée mais dynamique, intégrée dans un dispositif de données. Données d'enquêtes et données transactionnelles sont différenciées et complémentaires au sein d'un observatoire.

Un fait : l'accumulation de l'information

21 L'accumulation de données remet profondément en cause les pratiques de mobilisation et d'analyses statistiques. Jusqu'à présent, cette accumulation était souvent considérée comme un danger : celui d'acquérir de l'information non pertinente ou présentant un intérêt insuffisamment identifié. De fait, on n'était jamais assez insistant pour préciser les objectifs, éviter les questionnaires tout azimut, recentrer les questionnements. Avec les observatoires, il faut toujours rester vigilant sur ces aspects, mais il faut intégrer et utiliser au mieux l'information existante. Le rapport à l'information semble alors s'inverser, voire s'opposer à celui qui était jusqu'à présent prôné dans les méthodologies d'enquête. Le problème n'est plus seulement celui de collecter ou de mobiliser des données mais aussi d'exploiter le stock d'information existant (cas des données sur la

pêche industrielle qui fait l'objet d'un suivi depuis de nombreuses années par le CRO et l'IRD).

22 Dans ce contexte, et comme le souligne G. Hebrail (*in* Bosc *et al.*, 2001), des changements importants émergent dans le rapport à l'information :

- les objectifs peuvent ne plus être définis *a priori* et l'on va d'abord chercher à puiser l'information dans les données collectées de façon systématique voire automatique et qui se sont accumulées dans des bases partagées entre plusieurs utilisateurs. Cela signifie qu'avant de mettre en place une nouvelle enquête, il faut déjà vérifier que l'on ne peut pas obtenir l'information à partir de données existantes ou présentes dans les bases de données, quitte à user de détours pour l'obtenir (variables dérivées, facteurs, indicateurs *proxy* pour approcher une variable) ;
- les procédures automatisées permettent de plus en plus de disposer de données exhaustives pour une question. Selon Bosc *et al.* (*ibid.*) « l'exhaustivité des données peut modifier les analyses à mener.. : il n'y a plus d'inférence statistique. La seule incertitude est due aux erreurs se trouvant dans la base de données ». Cela ne signifie pas que l'on ne cherche plus à avoir une approche inférentielle, bien au contraire : on souhaite dorénavant travailler sur des échantillons test (pour une analyse discriminante ou de segmentation) où l'on s'intéresse à une population potentielle que l'on abordera à partir de la population existante ;
- une difficulté déjà évoquée plusieurs fois se situe au niveau de l'homogénéisation des données au cours du temps afin de tenir compte à la fois de l'évolution des concepts et de la nécessité de rendre les données diachroniques comparables entre elles ;
- enfin, si dans le cadre d'un observatoire l'approche recherchée est avant tout décisionnelle, l'approche exploratoire est largement recommandée dans un contexte « d'abondance de données ». Une demande forte est d'exploiter au maximum et le plus automatiquement possible les données disponibles pour en extraire des règles, des lois ou des connaissances.

23 L'étude systématique de ces informations a contribué au développement de l'analyse exploratoire des bases de données (*data mining*) qui reprend à son compte les méthodes d'analyses de données multidimensionnelles dans le contexte actuel de la diffusion et de la banalisation de la puissance de calcul (Lebart, 2001). Elle couvre en fait l'ensemble des méthodes statistiques participant à « la découverte semi-automatique d'informations implicites, non triviales, précédemment inconnues et potentiellement utiles au sein de grands ensembles de données ». En fait, il s'agit de techniques anciennes – celles de l'analyse des données telle que l'a définie Benzecri (1973) – et de différentes procédures d'agrégation bien organisées et faciles d'accès dans des progiciels. Cette accessibilité permet d'aborder de façon plus aisée le traitement de volumes importants de données et modifie alors les profils des utilisateurs.

Conclusion

24 Dans cet article, nous insistons sur le changement qui s'opère actuellement dans la conception des observatoires. Il est essentiellement lié au flux et à l'accumulation considérable (par automatisation et opportunisme) d'informations disponibles, diverses et variées, remettant en cause les pratiques statistiques et les rapports à l'information. On perçoit bien la nécessité de différencier les données d'enquêtes et les données transactionnelles, complémentaires pour un observatoire des pêches. Les données transactionnelles alimentent la base de données de façon sinon automatique, au moins

systématique et font l'objet de procédures automatisées. Pour les données d'enquête, qui jusqu'à présent sont les principales sources pour alimenter un observatoire dans les pays en développement, leur durée de vie est courte et leur « traitement statistique est l'affaire d'un petit nombre d'experts ou au moins de personnes averties et non d'agents de formations très diverses et dispersées dans l'espace. La large dissémination et la documentation des données brutes, la longue conservation et maintenance des données ne sont donc pas systématiquement des objectifs prioritaires pour le statisticien » (Lebart, 2001). Les stratégies de mise en place de protocoles de collecte des données vont être profondément remises en cause : pour assurer la pérennité d'un observatoire, il semble inéluctable de ne plus envisager cette collecte uniquement par le moyen d'enquêtes classiques, mais également de mettre en place des procédures automatiques et à défaut systématiques dans un premier temps. C'est donc dans cette optique que nous nous sommes placés pour aborder le traitement de données dans le cadre d'un projet d'observatoire des pêches maritimes en Côte d'Ivoire. Un tel dispositif pose notamment des difficultés importantes que l'on rencontre de façon générale lorsqu'on est confronté à un volume important de données relevant de sources et de disciplines différentes, comme c'est le cas dans le projet d'observatoire des pêches sur lequel nous travaillons. On rappelle en conclusion que les points soulevés dans cet article sont destinés à faire avancer et évoluer une méthodologie des observatoires compte tenu des développements récents des systèmes d'information décisionnels des entreprises. Ceci nous semble être des aspects nouveaux à considérer, à utiliser et à se réapproprier dans le contexte des terrains très spécifiques qui sont ceux des observatoires des pêches dans les PED et notamment en Côte d'Ivoire. Il ne s'agit pas de faire du « transfert technologique » mais plutôt de réadapter certains concepts à la problématique qui nous intéresse ici.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Benzecri J. P., 1973 – *L'analyse des données : l'analyse des correspondances.* Paris, Dunod, t. 2.

Bosc P., Hebrail G., Lebart L., Morin A., 2001 – *Bases de données et statistique.* Paris, Dunod.

Chavance P., Diallo A., 1995 – *La notion d'observatoire des pêches. 1) Objectifs, fonctions et propriétés d'un dispositif de suivi et de compréhension de la dynamique des exploitations halieutiques. 2) Une enquête sur la notion d'observatoire des pêches.* Doc. scientifique du CNSHB, janvier, n° 8, 30 p.

Chavance P., Romagny B., 1998 – *Étude de faisabilité d'un observatoire des pêches au Gabon.* Rapport de mission IRD, 2-14 février, 24 p. + annexes.

Deheuvels P., Marcotorchino F., 2000 – « Statistique et informatique : la nouvelle convergence ». *In : La statistique, rapport sur la science et la technologie,* Acad. des Sciences, Tech, et Doc, n° 8.

FAO, 1995 – *Code de conduite pour une pêche responsable.* Rome, FAO, 46 p.

Faucheux S., Hue C, 2000 – Politique environnementale et politique technologique : vers une prospective concertative. *Natures Sciences Sociétés,* 8 (3) : 31-44.

Fogelman-Soulie F., 2001 – « Applications industrielles du data mining ». *In : Bases de données et statistique,* Paris, Dunod.

Lebart L, 2001 – « Problèmes statistiques et numériques liés à l'échelle des données. Données manquantes ». *In : Bases de données et statistique,* Paris, Dunod.

Legay J.-M., 1997 – *L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode.* Paris, INRA, coll. Sciences en questions, 110 p.

Morand P., Poncet Y., Niaré T., 1996 – « Le montage d'un système de suivi de la pêche dans le delta central du Niger : intérêt et application de l'approche "système d'information" ». *In : Méthodes d'étude des systèmes halieutiques et aquacoles,* Paris, Orstom, coll. Coll. et sém. : 27-31.

Mullon C, Piron M., 1998 – « Sur la méthodologie de mise en place des observatoires socio-économiques ». *In :* De *l'observation à l'analyse, implication de la biométrie dans les pays en développement,* Société Française de Biométrie, 15 : 61-77.

Mullon C, Piron M., Morand P., 1998 – *La conception et la mise en place des observatoires des sociétés et des milieux naturels.* Doc. IRD, Ecole d'été, Orléans, septembre 1998.

Piron M., 1996 – Systèmes d'information et observatoires en sciences sociales : quel impact sur les démarches de recherche ? *Cah. Sci. Hum.,* Orstom, 32 (4) : 765-787.

Piron M., 1999 – Enquêtes et Systèmes d'information. Actes du colloque francophone, AFRISTAT-AISE-ENSEA-IRD-SFdS, Abidjan, 27-30 avril 1999.

République du Sénégal, 1998 – *Bilan économique du secteur de la pêche au Sénégal en 1995.* Min. pêche et transports maritimes, Observatoire écon. de la pêche au Sénégal (OEPS), 20 p. + annexes.

Romagny B., N'Goran N., 2000 – Le thon : une filière en Côte d'Ivoire porteuse d'idées. *Marchés Tropicaux et Méditerranéens,* 2853 : 1355-1360.

Romagny B., Ménard F., Dewals P., Gaertner D., N'Goran N., 2000 – « Le "faux-poisson" d'Abidjan et la pêche sous épaves dans l'Atlantique tropical Est : circuit de commercialisation et rôle socio-économique ». *In* Le Gall J.-Y., Cayré P., Taquet M. (éd.) : *Pêche thônière et dispositifs de concentration de poissons,* Ifremer, Actes de colloques, n° 28 : 634-652.

Weber J., 1995 – *Gestion des ressources renouvelables : fondements théoriques d'un programme de recherche.* Miméo, 20 p.

Weber J., Betsch J.-M, Cury P., 1990 – *A l'interface homme-nature : les ressources renouvelables.* Rap. CNRS, Colloque national Recherche et Environnement, CNRS, Strasbourg, 24-25 septembre : 39-50.

NOTES

1. Le secteur des pêches dans son ensemble représenterait 70 000 emplois directs et ferait vivre environ 400 000 personnes supplémentaires. Abidjan est en outre le premier port de pêche du golfe de Guinée pour les débarquements de thons tropicaux (Romagny *et al.*, 2000 ; Romagny et N'Goran, 2000).

2. Ce projet régional a comme objectif général de construire une information pertinente et utile pour le développement durable des pêcheries nord ouest africaines et de contribuer à la définition de systèmes de gestion et d'aménagement mieux adaptés.

3. Créée en 1985, la CSRP comprend les pays suivants : Mauritanie, Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau, Guinée Conakry, Cap Vert.
4. Programme pour des moyens d'existence durables dans la pêche. DFID-FAO.

AUTEURS

MARIE PIRON

Statisticienne. IRD, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France, piron@bondy.ird.fr

BRUNO ROMAGNY

Économiste. IRD, Centre IRD Petit Bassam, 04 BP 293, Abidjan 04, RCI, Bruno.Romagny@ird.ci

Samba, un système multi-agents pour la compréhension des dynamiques agraires

Cas des zones de montagne du bassin du fleuve Rouge (Viêt-Nam)

Jean-Christophe Castella, Stanislas Boissau, Tran Ngoc Trung et Dang Dinh Quang

1 La réforme agraire qui fait suite à l'indépendance du Viêt-Nam met fin à la propriété individuelle des terres. La terre est déclarée propriété du peuple vietnamien et un système de coopératives est mis en place. Entre la fin des années 70 et le début des années 80, ce système rentre dans une phase de crise caractérisée par une baisse de la production rizicole et une démotivation des coopérateurs (Jésus et Dao Thê Anh, 1998). Deux réformes successives en 1982 (« résolution 100 ») et 1986 (« contrat 10 ») vont marquer la transition entre une agriculture collectiviste et une agriculture familiale. Cette même période est marquée par une déforestation importante dans la majeure partie Nord du pays. Une telle évolution du couvert forestier dans la province de Bac Kan en général, et dans la commune de Xuât Hoa, a été mise en évidence par interprétation de photographies aériennes et d'images satellite (Sadoulet *et al.*, 2000). Contrairement au delta où la collectivisation n'a pas empêché la différenciation des exploitations (Pillot et Yvon, 1995), les enquêtes menées dans la province de Bac Kan montrent une relative homogénéité dans les pratiques agricoles durant cette période, au moins au sein d'un même village. La période des coopératives peut dès lors être inerprétée comme une période de dédifférenciation, du moins dans cette province. Le modèle multi-agents « Samba » présenté ici a pour objectif la compréhension des dynamiques agricoles au cours de cette période de transition entre coopératives et agriculture familiale. Les simulations sont utilisées pour tester les hypothèses issues du travail de terrain relatives à la différenciation agricole des foyers et de l'analyse géographique des changements d'utilisation des sols. Pour cela, nous nous baserons sur l'étude de cas conduite dans la commune de Xuât Hoa en 1999 et 2000 (Sadoulet, 1999 ; *et al.*, *ibid*.).

Évolution des modes d'exploitation du milieu et dynamiques agraires dans la commune de Xuat Hoa

2 L'approche proposée consiste à analyser les dynamiques des systèmes de production agricole à l'interface entre les transformations du milieu biophysique et de l'environnement socio-économique (Sadoulet, *ibid.*). Elle s'appuie sur les concepts et théories de l'agriculture comparée (Mazoyer et Roudart, 1997). Les dynamiques spatiales ont été suivies grâce à l'interprétation d'une série chronologique de photographies aériennes datant respectivement de 1954, 1977 et 1998. Le suivi longitudinal sur plus de quarante ans des modes d'exploitation du milieu renseigne sur leur fonctionnement actuel, leur extension spatiale et plus généralement sur la dynamique des systèmes agraires. Le travail de terrain visant à caractériser l'évolution des modes d'exploitation du milieu s'est déroulé en trois phases totalisant respectivement 7, 55 et 49 enquêtes : une phase d'enquêtes historiques auprès de personnes ressources âgées pour cerner les dynamiques anciennes d'exploitation du milieu ; une phase d'enquêtes plus précises sur la différenciation récente et actuelle des systèmes de production conduisant à dresser une première typologie destinée à servir de base d'échantillonnage pour la dernière phase ; et une phase d'enquête d'exploitations archétypiques représentatives de chaque catégorie définie auparavant.

Approche historique des transformations de l'agriculture et du milieu naturel

3 La production agricole de la zone d'étude repose sur l'exploitation combinée de deux unités de paysage : les bas-fonds rizicoles et les pentes. Ces deux milieux traditionnellement exploités par deux groupes ethniques distincts (Tày et Dao respectivement) ont évolué au rythme des politiques foncières successives. La dynamique historique peut être interprétée comme la succession de quatre modes d'exploitation du milieu correspondant à trois étapes d'évolution du système agraire (fig. 1).

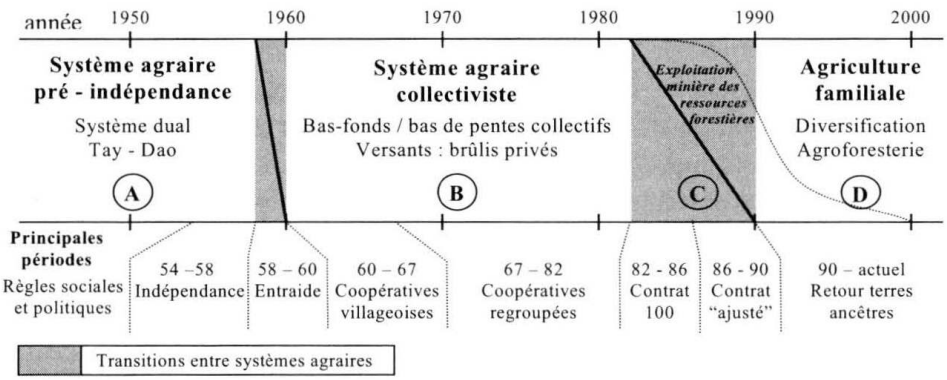


Figure 1. Succession chronologique des systèmes agraires.

4 Avant l'indépendance (étape A, fig. 1), il existe un mode d'exploitation peu intensif de l'écosystème : rizières à un cycle avec une densité de repiquage faible dans les bas-fonds, systèmes de culture de défriche-brûlis à jachère longue sur les pentes. La disponibilité en main d'œuvre des familles était le principal déterminant de l'extension des surfaces

cultivées. Le système agraire était caractérisé par l'accès privilégié du groupe ethnique Tày aux bas-fonds alors que les Dao exploitaient les étages supérieurs de la toposéquence. Les agriculteurs étaient libres d'ouvrir de nouvelles parcelles dans la forêt et conservaient traditionnellement un droit d'usage sur ces terres même pendant les longues périodes de jachère. Au début des années 60, on passe à un système agraire collectiviste, les règles sociales et politiques étant gérées par des coopératives (étape B, fig. 1). Le mode d'exploitation agricole est alors intensifié dans les bas-fonds grâce à l'introduction des innovations de la *révolution verte.* Dans les années 1970, l'augmentation de la production des rizières liée au passage à la double culture, à la généralisation des variétés à fort potentiel et à la fertilisation chimique diminue la pression agricole sur les pentes. La culture rizicole devenait plus productive et moins risquée dans les bas-fonds que sur les pentes où elle était soumise aux aléas climatiques. De plus, les politiques de protection des forêts encourageaient l'abandon des systèmes rizicoles d'abattis-brûlis chez ceux qui le pratiquaient encore. Les autres cultures de pente, telles que le manioc ou le maïs, étaient gérées par les coopératives sur des terrains proches des villages. Le système agraire était caractérisé par un sous-emploi des ressources en regard des capacités du milieu et de la main d'œuvre disponible. On observe une régénération forestière durant cette période. Mais la croissance démographique a progressivement réduit la production de riz par habitant. Les capacités théoriques du système devenaient insuffisantes (surpopulation théorique), alors même que le milieu se trouvait sous-exploité. Autrement dit, les ressources naturelles étaient préservées mais les gens avaient faim. Vers la fin des années 1970, le travail collectif ne produisait plus suffisamment pour assurer la viabilité du système et les coopératives entrèrent dans une grave crise. Les surfaces de cultures sur pentes se sont étendues très rapidement du fait d'une productivité du travail bien supérieure à celle des bas-fonds. Les familles se sont mises à accumuler des animaux : buffles et bovins privés, alors que le troupeau collectif stagnait. Les rizières étaient sous-exploitées. La crise du système coopératif s'est donc manifestée par un retour brutal à une adéquation entre exploitation du milieu et population qui permet d'expliquer le mouvement brutal et rapide de déforestation (étape C, fig. 1). En quelques années, on a assisté à une saturation de l'espace exploitable en abattis-brûlis. Les rendements décroissants sur les pentes, combinés à la sécurisation foncière des bas-fonds ont favorisé l'investissement en travail dans un premier temps, puis en capital, sur les rizières. Progressivement, de nouveaux modes d'exploitation durable des pentes ont émergé, caractérisés par l'intensification et la pérennisation de systèmes de culture agroforestiers (étape D, fig. 1).

Une différenciation rapide des exploitations agricoles dans les années 80

5 Une étude historique rapide des conditions de production avant l'indépendance montre déjà l'existence de rapports sociaux inégalitaires, sans doutes exacerbés par le système colonial, par les prélèvements imposés et la place donnée aux notables locaux dans l'administration de la colonie (Thomas, 1999). Par exemple, l'accès au foncier est très inégal avec des surfaces variant de 1 à 10. La collectivisation a largement contribué au nivellement des inégalités économiques entre les ménages agricoles, même s'il est probable que des phénomènes sociaux autres que ceux décrits ici aient permis à certains de prendre ou de garder une prééminence sociale, qui a pu avoir des conséquences par la

suite. A l'aube des transformations de la décennie 1980, on observe assez peu de différences entre systèmes de production, sans doute bien moindre qu'à la mise en place du système coopératif. Les différences sociales que l'on peut observer actuellement sont apparues – ou pour certaines réapparues – depuis le début des années 1980. On peut regrouper les moteurs de la différenciation selon trois catégories : (i) l'iniquité du système « forfaitaire » mis en place en 1982 (« contrat 100 »), (ii) l'accaparement de rentes nées de l'exploitation minière de la forêt et de certaines nouvelles activités, et (iii) l'appropriation du foncier des bas-fonds et la réapparition d'inégalités anciennes.

Le « contrat 100 » : perversité d'un système qui semblait équitable

6 Le « contrat 100 » (1982-1986, fig. 1) a marqué la mise en place d'un nouveau système de répartition des terres de bas-fond et de redistribution des fruits du travail sur les rizières par l'attribution des surfaces de rizière au *prorata* du nombre de bouches à nourrir par famille (pour garantir un approvisionnement alimentaire suffisant), par le prélèvement d'un rendement objectif (fixé par la coopérative selon la qualité des rizières : sol, micro-topographie, accès à l'eau, etc.) destiné à payer les intrants et à rémunérer le travail coopératif, et par la rémunération du travail sur les rizières et des autres travaux coopératifs (irrigation, soins au cheptel, etc.) en comptabilisant les points de travail. Ce système semblait simple et équitable. Les familles ayant beaucoup de bouches à nourrir avaient la possibilité d'obtenir un surplus de riz plus important. En réalité, c'est exactement l'inverse qui s'est produit. La très forte productivité du travail de défriche-brûlis n'a pas incité les familles riches en main d'œuvre à investir du temps de travail pour soigner leurs rizières : les rendements objectifs ont donc été tout juste atteints. Par ailleurs, les familles disposant de peu d'actifs par rapport au nombre de bouches à nourrir ont eu à cultiver de grandes surfaces de rizière par actif, parfois même supérieure à la surface maximale cultivable à deux cycles par ces actifs (fig. 2). Elles ont donc eu du mal à faire face aux périodes critiques des pointes de travail, ce qui les obligeait à bâcler le travail sur les rizières pour rester synchronisées avec les autres familles et ainsi bénéficier de l'irrigation. Elles ont donc souvent abouti à des rendements médiocres. De plus, le système de rémunération du travail collectif fondé sur les points de travail était désavantageux pour les familles pauvres en main d'œuvre. En effet, le travail était payé proportionnellement au temps théoriquement passé, et non pas à la richesse créée. Or la productivité du travail sur les rizières était supérieure pour de faibles surfaces par actif[1] (fig. 2). La valeur d'un travail effectué en saison creuse étant la même que celle d'un travail effectué pendant la pointe de travail (au moment de la récolte), les familles ayant de grandes surfaces de rizières par actifs subissaient un prélèvement qui servait à rémunérer le travail des autres familles. Il y avait donc un transfert de riz des familles pauvres en actifs vers les familles riches en main d'œuvre. Ainsi, paradoxalement, les revenus des actifs ayant à cultiver beaucoup de rizières étaient plus faibles et leurs familles étaient les plus en difficulté. Compte tenu du manque de temps pour travailler les rizières, ces familles « défavorisées » par leur composition démographique n'ont pas pu cultiver de brûlis, pourtant beaucoup plus rentables à cette période. Elles ont donc assuré une production minimale (certainement insuffisante) pour l'ensemble de la communauté et n'ont pas pu s'assurer une production privée comme ceux qui avaient une main d'œuvre plus importante par rapport au nombre de bouches à nourrir. A cette époque, certaines de ces familles riches en main d'œuvre défrichaient de grandes parcelles très fertiles et commençaient à pratiquer des activités à rentabilité différée (plantations

agroforestières, élevage porcin associé à la culture du maïs), dans une stratégie d'appropriation des terres de pente et non de vente car les débouchés étaient encore peu nombreux. Ainsi, durant l'application du « contrat 100 », des différences sociales se sont crées, qui se sont ensuite accentuées de manière importante dans les années qui ont suivi.

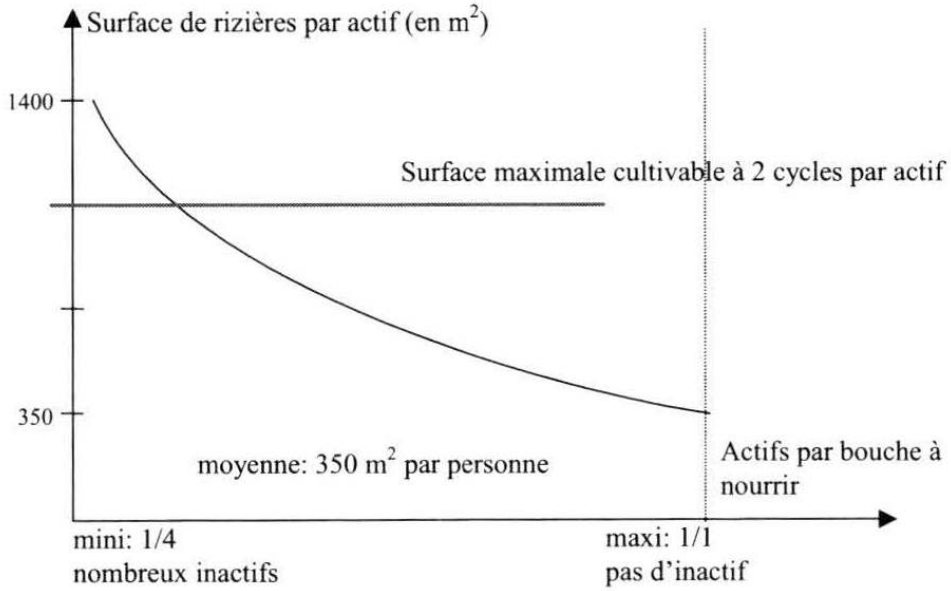


Figure 2. Répartition des surfaces de rizière par actif sous le « contrat 100 ».

Le contrat « ajusté » : vers une agriculture d'accaparement des rentes

7 En 1986, les bonnes terres de pentes avaient toutes été défrichées. Il ne restait plus que des terres marginales ou d'anciens brûlis à cultiver. La productivité du travail sur les pentes avait chuté : le revenu global allait diminuer si le système forfaitaire était maintenu. On était donc arrivé en moins de trois ans à une crise du système agraire combinant l'exploitation collective des rizières à deux cycles et des pentes en cultures de défriche-brûlis privée. De manière plus ou moins autonome, la coopérative a décidé de changer ses règles (vers 1986, fig. 1). On est passé dans les faits à un système proche de celui mis en place avec le « contrat 10 », deux ans plus tard, dans le delta du fleuve Rouge :

- fin du travail coopératif : la force de travail est gérée par l'ensemble des familles ;
- redistribution des rizières au *prorata* du nombre d'actifs, mais la gestion de la terre restait encore à la charge de la coopérative ;
- fin de l'intervention de la coopérative dans la production rizicole (intrants, rémunération du travail, caisse de solidarité…) : les prélèvements se limitaient à l'impôt et rémunération des cadres ;
- vente des buffles à prix réduit, les familles ont récupéré leur contribution versée à la création de la coopérative et qui a été déduite du prix des buffles, la distribution a été égalitaire (quotas par famille).

8 Il s'agissait donc d'une réappropriation complète par les familles des moyens de production que sont le travail et le capital. Seul le foncier restait collectif. Cet ajustement a eu un effet immédiat sur la production rizicole. Les prélèvements étant diminués et le travail à nouveau normalement rémunéré, les familles se sont remises à investir du temps

de travail dans les rizières. Une grande partie des rizières sur lesquelles on ne cultivait jusqu'ici qu'un cycle annuel, ont été cultivées à deux cycles. Pour cela, aucun aménagement n'a été réalisé, il a suffit de choisir des variétés à cycles plus courts. Certaines familles ont commencé à investir en intrants chimiques. Durant cette période, la différenciation s'est opérée selon deux directions. D'une part, sur la base de la capitalisation de la période précédente (stocks de riz, élevage) et face à la baisse de productivité des brûlis, on a vu se développer d'autres activités : exploitation de bois précieux (accès à de nouveaux réseaux de commercialisation, reconstruction des maisons), aménagements de rizières, etc. D'autre part, pour les familles ayant peu de bouches à nourrir par actif, le surplus relatif de main d'œuvre a permis à ce moment-là la plantation d'arbres fruitiers (abricotiers notamment), qui sont entrés en production au début des années 90, au moment où les cours étaient élevés.

A partir de 1990, l'accès inégal au foncier et à la propriété privée

9 Une nouvelle réorganisation du secteur agricole, dite du « contrat 10 », est décidée par le gouvernement en 1989. Il s'agit, à peu de choses près, d'un fonctionnement qui ressemble à celui décrit au paragraphe précédent. Il a été interprété dans la région d'étude d'une manière tout à fait originale.

10 En 1990, on assiste à un mouvement spontané de réappropriation des terres de rizières collectivisées en 1960. Chaque famille récupère alors les rizières de ses ancêtres et les distribue aux chefs de famille héritiers. Cette redistribution est très inégalitaire. Elle reprend les inégalités du système qui avait précédé l'indépendance. Le morcellement entre héritier, différent selon la descendance des familles vient toutefois complexifier la situation foncière. Sur les pentes, la règle de concession des terres pour de longues durées aux familles est mise en œuvre à partir de 1994. Les familles ont ainsi obtenu des titres fonciers stables. Toutefois, les règles locales d'attribution de la terre, dérivées du droit d'usage traditionnel, se sont limitées à accorder aux familles les surfaces qu'elles avaient déjà exploitées auparavant, y compris les jachères. Ainsi la redistribution des terres de pente n'a fait qu'entériner les inégalités entre familles créées entre 1982 et 1986 selon leur accès au défrichement.

11 Cette évolution des différences sociales depuis le début des années 80 peut être représentée par un modèle conceptuel basé sur l'abondance relative de main d'œuvre par rapport au nombre de bouches à nourrir dans les années 80 (principalement entre 1982 et 1986) d'une part, et sur la surface de rizière héritée des ancêtres au début des années 1990. On note qu'il existe une grande cohérence entre cet accès différencié et les systèmes de production observés, combinaisons particulières de systèmes de cultures et d'élevage (Sadoulet *et al.*, *ibid.*).

Hypothèses sur les mécanismes de redistribution des moyens de production

12 Les mécanismes de redistribution des moyens de production à l'origine des transformations récentes sont peu documentés, car ils ont émergé d'une crise au cours de laquelle régnait une extrême confusion liée à des changements très rapides (trois réformes foncières successives à quatre ans d'intervalle), et à une extrême diversité des situations locales et des spécificités villageoises (groupes ethniques différents, ratios

terres de pentes/bas-fonds différents, etc.). Enfin, certains conflits fonciers ne sont toujours pas réglés aujourd'hui et ces thèmes sont restés tabous.

13 Nous avons donc été amenés à formuler une série d'hypothèses de l'impact des règles d'accès aux ressources foncières sur les dynamiques agraires et écologiques observées ainsi que sur la différenciation des exploitations agricoles. On a considéré que l'exploitation de l'écosystème s'est progressivement intensifiée selon quatre étapes :

- intensification par unité de main d'œuvre, le foncier sur les pentes semblant inépuisable ;
- avec l'épuisement des surfaces défrichables, passage à des systèmes plus productifs en 1986 (passage à deux cycles, petits investissements) sur les rizières et augmentation du cheptel ;
- à partir de 1990, la sécurité foncière sur les rizières puis sur les pentes favorise d'une part, l'investissement en main d'œuvre et une augmentation rapide de la production, et d'autre part, les investissements à moyen et long terme (plantations) ;
- à l'avenir, on devrait observer une certaine divergence dans les modes d'exploitation de l'écosystème selon les différents types d'exploitation (Sadoulet *et al.*, *ibid.*)

14 Trois principaux moteurs du changement ont été identifiés :

- la rentabilité relative des productions et des techniques de productions en fonction des conditions écologiques, économiques et sociales de production (exemple : le riz) ;
- les conditions matérielles de ces évolutions (capitalisation, connaissances techniques) ;
- les conditions sociales du changement (règles locales d'accès aux moyens de production).

15 En l'absence de données empiriques fiables sur la période de 1982 à 1990, le modèle « Samba » a été développé de manière à tester les hypothèses ci-dessus et à évaluer leur domaine de validité.

Le modèle Samba

Présentation du modèle

16 Le modèle Samba a été programmé sous la plateforme Cormas (Bousquet *et al.*, 1998). Il comprend 2 entités : les agents "*HouseHold*" et les cellules "*Cell_Samba*" qui composent l'environnement. Chaque entité est caractérisée par des attributs et des méthodes de comportement. Ainsi, chaque agent "*HouseHold*" est caractérisé par sa composition démographique (nombre de personnes dans le foyer, nombre d'actifs), les parcelles de terres qu'il possède, les buffles qu'il possède, un porte-monnaie et un excédent de main d'œuvre après travail dans les rizières irriguées. D'autre part, chaque agent "*Housetiold*" peut opérer les actions suivantes : calculer sa production de riz irrigué, calculer son excédent – ou son déficit – de riz par comparaison entre la production de riz irrigué (4 t ha^{-1}) et ses besoins (300 kg $pers^{-1}$), calculer le revenu généré par le surplus de production de riz (en considérant que tout excédent de riz est vendu au prix de 2 500 VND[2] par kg), augmenter son porte-monnaie du revenu tiré de la vente de riz et/ou des cultures de rente, acheter un buffle (au prix de 2 000 000 VND) chaque fois que le montant du porte-monnaie le lui permet.

17 L'environnement est constitué par une grille spatiale de 2 500 cellules (50 x 50) représentant chacune une surface de 1 000 m^2. Chaque cellule est caractérisée par son éloignement par rapport au village ("*remoteness*") et son état ("*state*") qui peut prendre 6 valeurs : rizière irriguée ("*paddyField*"), riz pluvial ("*uplandRice*"), jachère ("*fallow*"), pâturage ("*pasture*"), culture de rente ("*fruitTree*"), forêt ("*forest*"), (fig. 3).

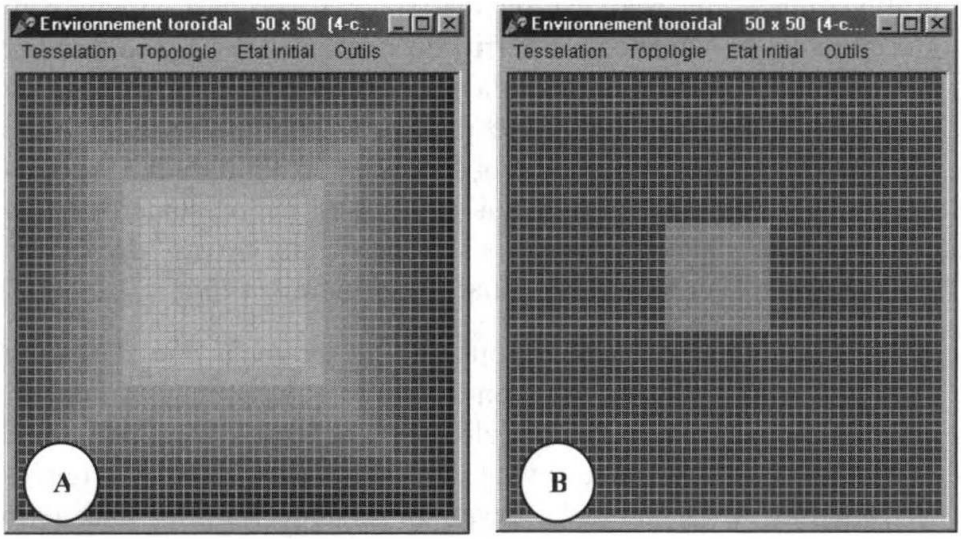


Figure 3. État initial de l'environnement en début de simulation sur le modèle Samba. A : indice de distance au village variant de 1 (cellules les plus proches du centre de la grille) à 10 (cellules les plus éloignées) ; B : indice d'état du couvert végétal (au centre de la grille, cellules initialisées à l'état " *paddyField*" et les autres à l'état "*fores*").

18 En début de simulation, on initialise les attributs "*remoteness*" et "*state*" des cellules en donnant, respectivement, un indice variant de 1 à 10 en fonction de la distance au village (1 pour les cellules les plus proches du village, au centre de la grille) (fig. 3-A), et en fixant un état "*paddyField*" au centre de la grille et "*forest*" aux autres (fig. 3-B).

19 Les cellules sont dotées des dynamiques annuelles « passage à l'état de jachère quand la parcelle n'est plus cultivée » et « régénération de la forêt quand l'état de la parcelle est en jachère ». Un pas de temps correspond à un an.

Simulations

20 Le modèle Samba permet de simuler différentes situations en variant la taille de l'environnement (représenté par la grille) et le nombre de cellules initialisées dans l'état " *paddyField*", la population (nombre de foyers) et la composition des foyers (nombre de bouches à nourrir, nombre d'actifs), les modalités d'allocation et de réallocation des rizières (proportionnellement aux nombre de bouches à nourrir, au nombre d'actifs, au nombre de foyers, ou à une partie de la population seulement). L'intérêt d'un tel modèle est sa simplicité, et par conséquent son adaptabilité à la diversité des situations observées sur le terrain. Dans la description des simulations qui suit, nous ne présenterons que quelques cas particuliers choisis à partir du travail de terrain effectué dans la commune de Xuat Hoa (Sadoulet, *ibid.*).

21 Nous avons mené des simulations qui débutent par une allocation des rizières irriguées en fonction du nombre de bouches à nourrir, nous laissons tourner le modèle pendant quatre pas de temps représentant quatre années avant de réallouer les rizières irriguées en fonction de la force de travail de chaque famille. Une telle simulation correspond alors au calendrier des évènements tels qu'ils se sont déroulés dans la commune de Xuât Hoa avec allocations successives des rizières irriguées en 1982 et 1986 qui marquent la fin de la période collectiviste et la transition vers l'agriculture familiale (fig. 1). La simulation dont les résultats sont présentés ci-dessous a été effectuée sur une grille de 2 500 cellules

(50x50) avec à l'initialisation 144 cellules en état "*paddyField*" Les agents "*HouseHold*" ont été initialisés à l'aide d'une base de données dérivée de données d'état civil de la commune de Xuât Hoa. Le modèle comprend ainsi 50 agents "*Houseffold*" représentant une population de 246 individus virtuels. A l'initialisation, les cellules "*paddyField*" sont distribuées au prorata du nombre de bouches à nourrir, et après quatre pas de temps, elles sont redistribuées au prorata de la force de travail de chaque agent "*HouseHold*". On laisse alors tourner le modèle quatre pas de temps supplémentaires. La durée totale de la simulation représente donc huit années au cours desquelles les agents "*HouseHold*" et les cellules suivent les dynamiques présentées précédemment (fig. 4). Les résultats sont alors exportés dans une base de données d'où l'on tire les graphiques d'évolution du modèle.

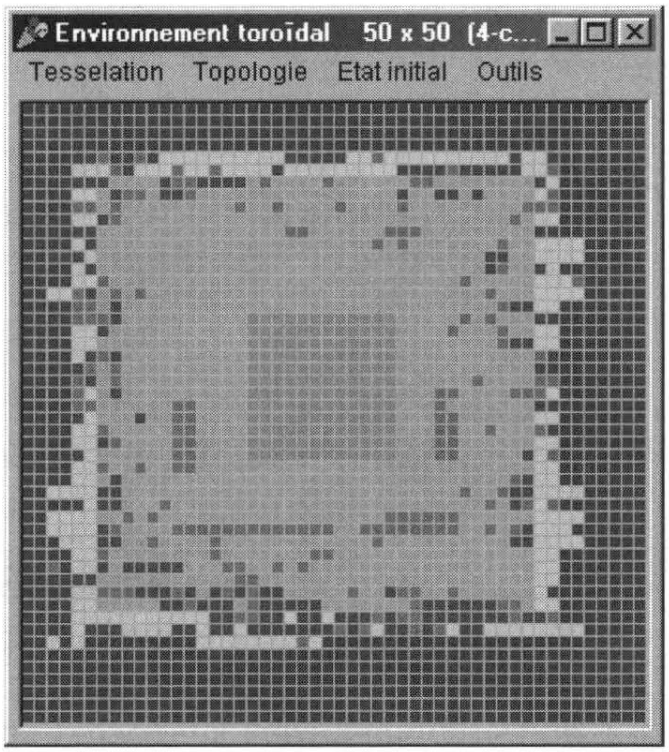


Figure 4. État de l'environnement (de la grille) après huit années (pas de temps) de simulation sur le modèle Samba.

22 Nous voyons sur la figure 5 que durant les quatre premières années, les agents "*HouseHold* " emploient leur surplus de main d'œuvre à la culture du riz pluvial qui entraîne une diminution du couvert forestier. Un léger surplus de production permet une accumulation sous forme de buffles. A partir du cinquième pas de temps (5e année), la nouvelle redistribution des cellules "*paddyField*" permet le développement de cultures de rente et une diminution de la surface de riz pluvial. Cependant, ces résultats globaux – agrégés – cachent différentes situations individuelles que nous proposons à présent de passer en revue.

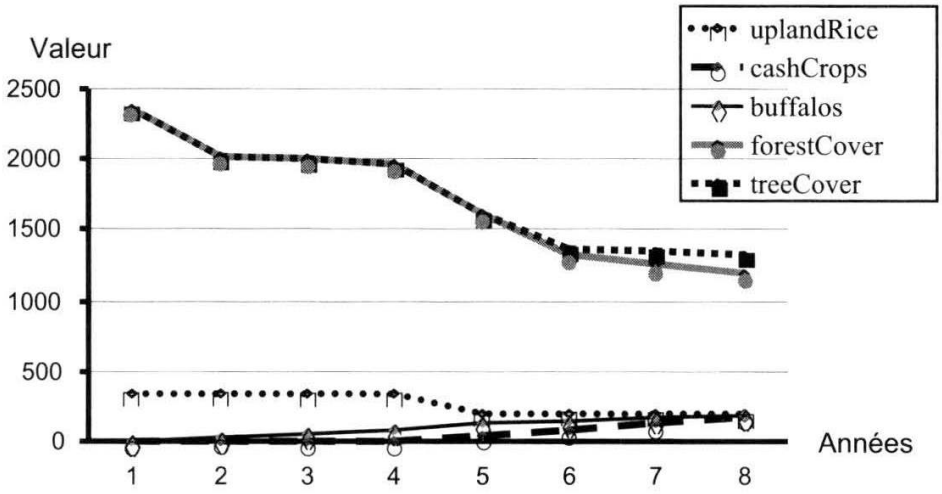


Figure 5. Évolution du couvert végétal et des productions agricoles de pentes au cours de huit années de simulation sur le modèle Samba. Valeurs cumulées pour l'ensemble des foyers.

23 Trois principales catégories d'exploitations sont dégagées par les simulations :

- *les exploitations de type A* (fig. 6-A) : la première allocation de rizières, en fonction du nombre de bouches à nourrir, ne permet pas au foyer de couvrir ses besoins en riz, le surplus de main d'œuvre est alors employé à la culture du riz pluvial ; la réallocation des rizières (en cinquième année, pas de temps 5) en fonction de la main d'œuvre permet au foyer de couvrir ses besoins, la main d'œuvre supplémentaire est alors allouée au développement de cultures de rente ;
- *les exploitations de type B* (fig. 6-B) : que l'allocation des rizières se fasse au *prorata* du nombre de bouches à nourrir (pas de temps 1) ou de la force de travail (pas de temps 5), la production de riz irrigué ne suffit pas à couvrir les besoins du foyer, celui-ci doit alors affecter son excédent de main d'œuvre à la production de riz pluvial dont le surplus éventuel permet une accumulation sous forme de buffles ;
- *les exploitations de type C* (fig. 6-C) : la main d'œuvre manque, les rizières allouées lors de la première allocation ne suffisent pas à couvrir les besoins alimentaires de la famille alors que l'ensemble de la main d'œuvre disponible est affectée au travail sur les rizières (pas de possibilité d'ouverture de brûlis) ; la deuxième allocation de rizières (au *prorata* de la force de travail) permet de dégager un surplus de main d'œuvre qui est affecté à la culture du riz pluvial, le foyer reste toutefois déficitaire en riz.

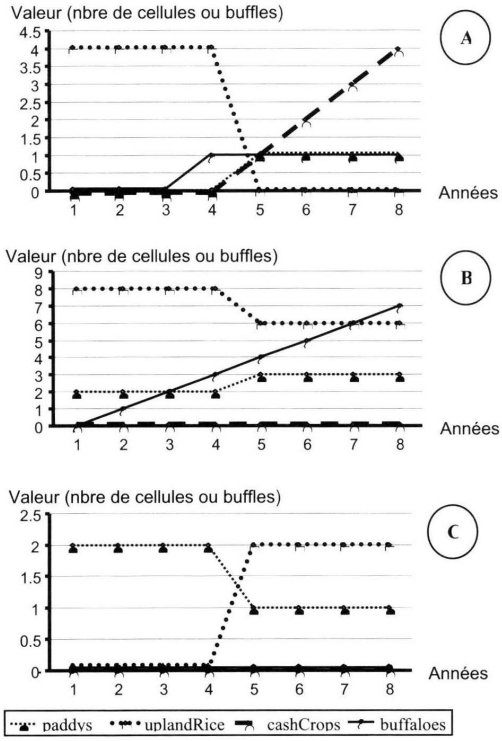


Figure 6. Évolution du couvert végétal et des productions agricoles de pentes au cours de huit années de simulation sur le modèle Samba pour trois types d'exploitations agricoles. Type A : forte abondance de main d'œuvre. Type B : abondance relative de main d'œuvre. Type C : manque de main d'œuvre. Valeurs cumulées pour l'ensemble des foyers.

24 Ces trois types (A, B et C) issus du modèle informatique correspondent à la typologie construite à partir du travail de terrain sur la période 1980-1990 (Sadoulet, *ibid.*).

Sensibilité aux conditions initiales

25 L'émergence de ces différents « types/comportements/stratégies » dépend en grande partie des conditions initiales, c'est-à-dire du rapport entre nombre de bouches à nourrir et nombre d'actifs, et de la quantité de cellules ayant pour état "*paddyField*".

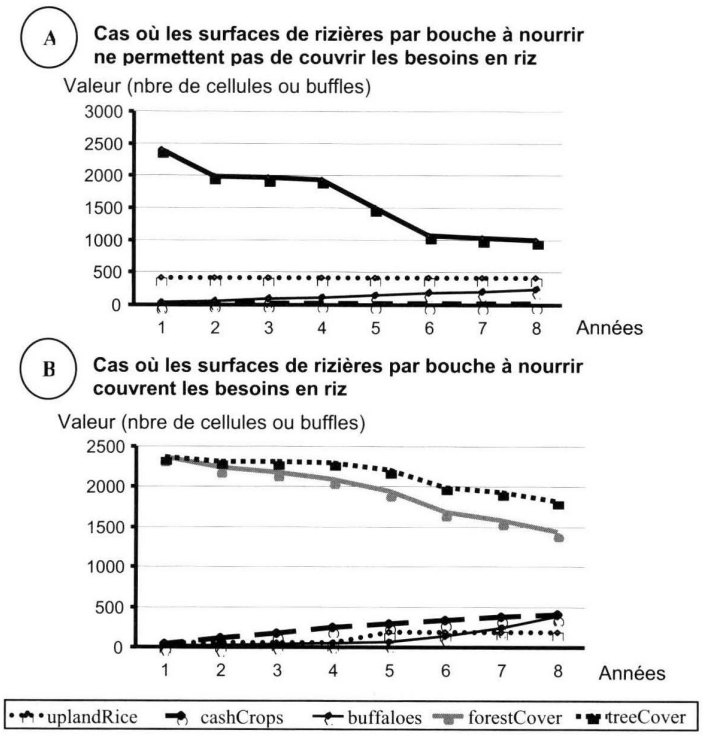


Figure 7. Évolution du couvert végétal et des productions agricoles de pentes au cours de huit années de simulation sur le modèle Samba en fonction de la surface initiale de rizières irriguées. Valeurs cumulées pour l'ensemble des foyers.

26 La possibilité d'aménagement de nouvelles rizières irriguées n'étant pas prise en compte par notre modèle, si la surface initiale de rizières est trop faible, aucun foyer, quelle que soit sa composition démographique, n'aura la possibilité de développer les cultures de rente (fig. 7-A). Inversement, si la surface de rizière par bouche à nourrir est trop importante, les cultures de rente pourront apparaître dès la première allocation (fig. 7-B), donnant ainsi naissance à un nouveau type de comportement.

27 Ces simulations montrent l'importance du rapport entre la taille de la population et la surface de rizières irriguées pour l'émergence des différents comportements observés. Une surface trop faible de rizières ne permet pas le développement des cultures de rente alors qu'une surface relativement importante le favorise dès la première allocation des rizières. Les enquêtes de terrain indiquent que les villages Tày de la commune de Xuât Hoa se trouvent dans une situation médiane correspondant aux simulations détaillées ci-dessus. Enfin, ces simulations mettent en évidence que l'émergence des trois stratégies décrites dépend en partie d'un manque de rizières irriguées qui peut aussi être interprété comme une relative sous-exploitation des rizières (Sadoulet, *ibid*).

Conclusion

Limites et prolongements du modèle

28 Les résultats de simulation ont montré que le modèle multi-agents *Samba* est capable, à partir d'un nombre très limité de règles de décision des foyers agricoles, de représenter des dynamiques agraires et processus de différenciation des systèmes de production au cours des années 1980. Dans ce modèle les agents n'interagissent pas directement mais

par l'intermédiaire des transformations qu'ils provoquent sur leur environnement. Le fonctionnement du modèle Samba dans sa version actuelle est fondé sur l'hypothèse d'une absence de coordination entre acteurs pendant la période étudiée. Les agents présentent un comportement réactif, par opposition aux agents cognitifs vers lesquels tendront les futures versions. Chaque agent agit donc indépendamment des autres et répond toujours de la même manière à un même stimulus.

29 Ces règles très simples ont suffi à l'émergence de comportements très proches de ceux observés dans la réalité. En effet, le démantèlement du système coopératif a été suivi par une « course aux brûlis » qui répondait essentiellement à des stratégies individuelles et dépendait dans une large mesure de la main d'œuvre que chaque famille pouvait mobiliser.

30 Jusqu'à présent, le modèle Samba a été utilisé pour comprendre les transformations passées des modes de mise en valeur du milieu. Il permet d'étudier les contributions respectives de la composition démographique des villages et de leur dotation en rizières dans la diversité qui a émergé à l'issue des réformes foncières successives qu'ont traversé ces zones de montagne. Mais nous ne prétendons pas capturer par un tel modèle réactif tous les facteurs impliqués dans les changements observés. Son principal objectif était d'identifier des « conditions nécessaires et suffisantes » pour expliquer l'émergence de stratégies différenciées d'utilisation des terres au sortir de la période des coopératives, et cet objectif a été atteint. Mais au-delà, par une meilleure compréhension des interactions entre allocation des terres de bas-fonds et dynamiques agricoles sur les pentes au cours de la période post-collectiviste, le modèle Samba éclaire la diversité des situations observables actuellement.

31 Pourtant, l'absence de coordination entre agents dans la version du modèle présentée ci-dessus ne permet pas de l'appliquer à la période actuelle qui présente des dynamiques plus complexes. Le modèle Samba sera donc progressivement adapté à la représentation des dynamiques locales actuelles, tout en le conservant aussi simple que possible de manière à favoriser son adaptabilité à des situations variées.

32 Il s'agira ensuite de déterminer grâce au modèle les indicateurs (ou clés d'extrapolation) suffisants pour faire la part des « tendances lourdes » du changement et des phénomènes qui interfèrent localement avec ces dernières pour créer l'extrême diversité observée (Castella *et al.*, 1999). Des enquêtes rapides effectuées à partir de ces indicateurs sur de plus grands ensembles géographiques permettront alors, grâce à des simulations, de valider à l'échelle de la province des hypothèses formulées à celle du village.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C, 1998 – Cormas : common-pool resources and multi-agent Systems. *Artificial Intelligence,* Lecture Notes : 1416.

Castella J.-C, Gayte O., Do Minh Phuong, 1999 – « Developing approaches for meso-level studies for effective community-based natural resource management in the uplands of Vietnam ». *In* Kam S. P., Hoanh C. T. (éd.) : *Scaling methodologies in eco-regional approaches for natural resource management,* proceedings of an international workshop, Ho Chi Minh City, Vietnam, 22-24 June 1998, IRRI, Makati City, Philippines : 93-107.

Jésus F., Dao Thê Anh, 1998 – *Les réformes au Viêt-Nam depuis 1979 et leurs effets sur les ménages agricoles.* Cirad-Insa, unité de recherche en prospective et politiques agricoles, Paris, Doc. travail n° 28 : 82 p.

Mazoyer M., Roudart L., 1997 – *Histoire des agricultures du monde.* Paris, Seuil : 531 p.

Pillot D., Yvon F., 1995 – Mutations techniques en économie de transition. *Études vietnamiennes,* 45 : 48-67.

Sadoulet D., 1999 – *La différenciation des exploitations agricoles dans la commune de Xuat Hoa, province de Bac Kan, Nord Viêt-Nam. Quels enseignements pour l'étude de l'agriculture régionale ?* Mémoire DAA, INAPG–Enesad, Paris : 104 p.

Sadoulet D., Castella J.-C, Vu Hai Nam, Dang Dinh Quang, 2000 – *Dynamiques agraires et différenciation des exploitations agricoles dans la commune de Xuat Hoa, province de Bac Kan, Viêt-Nam.* SAM paper series 1, Vietnam agricultural science institute (Vasi), Hanoi, Vietnam : 21 p.

Thomas F., 1999 – *Histoire du régime et des services forestiers français en Indochine de 1862 à 1945.* Hanoi, Editions The Gioi : 312 p.

NOTES

1. Les faibles surfaces par actif permettent d'éviter le goulot d'étranglement des pointes de travail, ce qui n'est pas le cas lorsqu'on atteint des surfaces proches des limites cultivables par actif.
2. Vietnam Dong, monnaie vietnamienne.

AUTEURS

JEAN-CHRISTOPHE CASTELLA

Agronome. IRD, SAM-Regional program, 269 Kim Ma Street, Ba Dinh, Hanoï, Vietnam, j.castella@cqiar.org

STANISLAS BOISSAU

Anthropologue. IRD, SAM-Regional program, 269 Kim Ma Street, Ba Dinh, Hanoï, Vietnam

TRAN NGOC TRUNG

Informaticien-modélisateur. IRD, SAM-Regional program, 269 Kim Ma Street, Ba Dinh, Hanoï, Vietnam

DANG DINH QUANG

Agronome. Vietnam agricultural sciences institute (Vasi), Thanh Tri, Hanoï, Vietnam, ddquang@hn.vnn.vn

Sinuse, un outil d'exploration des interactions distribuées entre une nappe et ses usagers

Sarah Feuillette, François Bousquet et Patrick Le Goulven

1 L'objectif de cette contribution est de présenter un modèle destiné à l'exploration de la dynamique entre une ressource en eau souterraine et ses usages, dans l'objectif de rechercher des voies de gestion par une maîtrise de la demande. Le cas d'étude de la nappe de Kairouan, en Tunisie centrale, représente un archétype des nappes en accès libre surexploitées.

2 L'observation de liens multiples et forts entre usages et ressource *via* les stratégies des différents acteurs nous a conduit à adopter une démarche systémique centrée sur les interactions, tant pour mener le travail de terrain que pour formaliser les données collectées. Les premières recherches de terrain ont montré que le système est caractérisé par un grand nombre d'éléments spatialisés, déterminants dans les processus qui nous intéressent et par *plusieurs types d'interactions simultanées usagers/usagers et usagers/nappe, distribuées dans le temps et dans l'espace – dont il est par conséquent difficile de prévoir le jeu.* Nous faisons l'hypothèse que ces interactions ont un impact important sur la dynamique globale et que leur simulation dans un monde artificiel, reconstitué en laboratoire, permet d'explorer la dynamique du système : c'est l'expérience qui a été réalisée avec la construction du modèle multi-agents « Sinuse » (*Simulation des interactions entre la nappe et les usages de l'eau*).

3 Nous présentons en premier lieu la problématique qui a motivé notre travail et la démarche que nous avons adoptée, puis la structure du modèle Sinuse, et enfin son fonctionnement.

Problématique et démarche

Le problème : la gestion par la demande d'une nappe surexploitée

4 La nappe de Kairouan, qui constitue la ressource en eau souterraine la plus importante de Tunisie centrale, subit un rabattement continu depuis une vingtaine d'années du fait de sa surexploitation. L'abaissement se fait ressentir sur l'ensemble de la zone et s'est accru ces dernières années (il est actuellement de 0,7 mètres par an en moyenne). Les prélèvements sont destinés à l'irrigation à hauteur de 80 %. Les usages agricoles sont alimentés en eau par des forages collectifs desservant des périmètres d'irrigation, et surtout par des puits individuels. Bien qu'ils soient majoritaires, ces derniers sont très mal connus. Pour tenter d'enrayer la surexploitation, les autorités sont d'abord intervenues sur l'offre à travers la gestion des barrages qui retiennent les oueds alimentant le système, puis sur la demande, en instaurant une « zone de sauvegarde », censée contraindre la construction de nouveaux captages. Mais l'offre demeure insuffisante et la loi est contournée par les agriculteurs : la nappe est en accès libre *de facto* et la surexploitation se poursuit. D'où l'intérêt d'une étude approfondie portant sur l'exploration de nouvelles voies de gestion de la demande.

5 Plusieurs types d'instruments de gestion de la demande sont répertoriés pour améliorer l'efficience de la distribution et/ou réallouer la ressource en eau (Montginoul, 1998 ; Strosser, 1997 ; Ollagnon, 1990). Mais lorsque la ressource en eau est un aquifère en accès libre, *les gestionnaires ne maîtrisent pas l'allocation de l'eau* et se trouvent donc confrontés aux problèmes suivants (Laurent, 1993) :

- le caractère invisible de la ressource qui rend difficiles (i) sa délimitation, (ii) l'émergence d'une gestion commune, (iii) l'observation des résultats d'actions de gestion sur la nappe ;
- l'extension spatiale de la ressource et l'accès libre des usagers ;
- la complexité du système aquifère et la méconnaissance de son fonctionnement hydrodynamique.

6 On trouve néanmoins des nappes gérées « en bien commun » (Laurent, *ibid.* ; Blomquist, 1992 ; Anda-Irrimieux, 1999), par des marchés de l'eau (Palmer-Jones, 1997), ou par des quotas individuels (cas de la nappe de Beauce). Quel que soit l'instrument de gestion envisagé, toute intervention requiert une bonne connaissance du système ressource/usages (Burke *et al.*, 1999).

Démarche adoptée

7 Notre travail a été effectué au sein du programme pluridisciplinaire franco-tunisien Mergusie[1], qui étudie la gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant de l'oued Merguellil. L'étude approfondie des interactions entre ressource et usages ne pouvant porter sur la totalité de la nappe du fait de sa taille (plus de 3 000 km^2), notre travail a été réalisé sur une zone privilégiée de la nappe, l'exutoire de l'oued Merguellil, où la densité des puits privés semble particulièrement forte. Cette zone d'étude s'étend sur 25 000 ha, et comporte plus de 2 000 chefs d'exploitation, plus de 600 puits privés et 16 périmètres d'irrigation alimentés par des forages collectifs. Après avoir appréhendé l'histoire et le fonctionnement global de cette zone, nous avons étudié en détails ses entités et les

processus en jeu les plus importants par rapport à la dynamique d'abaissement de la nappe.

8 Les analyses des chroniques piézométriques et des bilans volumiques ont montré que la nappe s'abaisse en réaction à l'accroissement des prélèvements par les puits.

9 Les conséquences de cet abaissement sur les comportements des agriculteurs, d'une part, et les impacts des stratégies individuelles et des interactions entre agriculteurs, d'autre part, ont été étudiés sur la base d'enquêtes portant sur les stratégies des agriculteurs, réalisées selon deux modes complémentaires :

- une dizaine d'enquêtes approfondies auprès d'usagers types portant sur les caractéristiques de leur exploitation, (en particulier leurs prélèvements saisonniers et interannuels), leur stratégie et leur trajectoire ;
- et 272 enquêtes statistiques auprès d'un échantillon aléatoire stratifié de 10 % de la population.

10 Les résultats des enquêtes nous ont conduit à poser l'hypothèse suivante : tous les agriculteurs de la plaine de Kairouan ont un même objectif global d'acquisition ou d'extension de l'irrigation pour pallier l'aridité du climat.

11 Les stratégies mises en œuvre dans ce but dépendent de leurs conditions parcellaires, familiales, économiques, d'accès à la ressource et de voisinage :

- le parcellaire des agriculteurs fait partie des éléments qui conditionnent la possibilité et le coût d'accès à la ressource ;
- leur localisation dans la zone influence également leur comportement : ainsi les séquences où l'on voit un agriculteur prendre une parcelle en faire valoir indirect, y creuser un puits à ses frais puis restituer la parcelle aménagée au propriétaire au bout de plusieurs années, n'ont lieu que dans certaines zones ;
- leur voisinage immédiat est un indicateur sur la possibilité de faire un puits, un stimulant social et une source d'échanges de terre et d'associations permettant aux agriculteurs de s'affranchir des limites de leur exploitation.

12 Les données de terrain confirment donc bien l'importance de l'environnement spatial dans les interactions dynamiques entre agriculteurs et avec la ressource. Les choix de modélisation découlent de cette caractéristique.

Choix du type de modèle

13 Les caractéristiques du système qui ont déterminé le choix du modèle se résument ainsi :

- diversité des types de processus en jeu (physiques, économiques, décisionnels) exprimant les interactions entre usagers et ressource et au sein du groupe des usagers ;
- distribution spatiale et temporelle de ces processus (hétérogénéité de la nappe, dispersion des agriculteurs, type de parcellaire, décisions tactiques et stratégiques) ;
- diversité des niveaux d'agrégation (parcelles, exploitations, périmètres irrigués, zones de la nappe) ;
- interactions locales entre les usagers et la nappe ;
- comportements non marchands (imitation) et importance des stratégies à long terme (creusage des puits) des usagers.

14 La complexité du système et son caractère distribué ont justifié une approche par « intelligence artificielle distribuée » (Lièvre et Traoré, 1998). Dans ce cadre, nous avons opté plus précisément pour une modélisation par les systèmes multi-agents (SMA), car ils

permettent de représenter différentes entités autonomes interagissant dans un environnement et sont particulièrement adaptés pour aborder l'interaction de dynamiques écologiques et de dynamiques sociales (Bousquet *et al.*, 1996), surtout lorsque des comportements non marchands et des interactions sociales locales doivent être pris en compte. Dans le modèle Sinuse (Simulation des interactions entre une nappe et les usages de l'eau), programmé en langage orienté objet *Smalltalk* sur la plateforme de simulation Cormas[2] (Bousquet *et al.*, 1998), les différentes entités sont chacune un agent doué d'attributs et de processus propres. Une fois choisis les systèmes multi-agents pour la modélisation, de nombreuses options demeurent : quelles variables du système vaut-il mieux représenter en tant qu'objet ? Quels processus modéliser ? A quel niveau d'agrégation doit-on se tenir ? A quelle classe rattacher un processus lorsque le choix est ambigu ?

Structure du modèle Sinuse

15 Le modèle Sinuse représente un schéma très simplifié et réduit du système étudié, tout en respectant les proportions des paramètres essentiels dans la mesure du possible, afin de retrouver la cohérence des phénomènes observés sur le terrain et de pouvoir utiliser efficacement les données collectées. La définition de l'espace du modèle se fait sur une grille rectangulaire de 40 cellules sur 60 cellules, chaque cellule représentant 1 hectare. La grille représente donc au total 2 400 hectares, soit environ 10 % en surface du système étudié. Le voisinage de chaque cellule est constitué par l'ensemble des 8 cellules adjacentes, les frontières de la grille étant considérées fermées. Une grille d'observation permet de représenter les différentes entités spatiales, définies pour la plupart à partir de cartes saisies au préalable. Le choix des entités est une étape déterminante pour la simulation des interactions à suivre. Le modèle Sinuse comporte trois types d'entités :

- des entités sociales, les exploitants, qui représentent les agriculteurs du terrain ;
- des entités spatiales plus ou moins agrégées, comme les zones de la nappe, les parcelles, les périmètres d'irrigation ;
- des entités passives (et situées) comme les puits, qui apparaissent et disparaissent au cours de la simulation (construction et abandon).

16 Le simulateur est organisé en deux parties : (i) le monde artificiel constitué des différents agents qui interagissent dans le temps et (ii) la structure de contrôle qui gère la simulation

Représentation de la ressource

17 Les caractéristiques de la ressource sont issues pour la plupart d'un traitement et d'une simplification des données fournies par l'équipe ressource de Mergusie, et d'une analyse des diverses études menées sur la nappe (Castany, 1968 ; Besbes, 1971 ; Besbes, 1975 ; Besbes et de Marsily, 1976 ; Chaieb, 1990 ; Nazoumou et Besbes, sous-presse...).

18 La différenciation spatiale de la nappe de Kairouan a conduit à son découpage en deux zones d'alimentation et de paramètres hydrogéologiques différents, chacune étant divisée respectivement en 2 et 3 zones de profondeurs différentes, selon un gradient croissant Est-Ouest. La géométrie lenticulaire de la nappe est prise en compte implicitement dans les processus de construction d'un puits : la probabilité d'échec du creusage varie selon

les zones de la nappe pour symboliser la présence de lentilles argileuses épaisses, et les zones sableuses des piémonts. Les deux zones de la nappe constituent les instances de la classe #ZoneNappe qui est un objet de type #AgrégatSpatial (fig. 1).



Figure 1. Diagramme UML de la classe ZoneNappe. mAJ = mise à jour.



Figure 2. Diagramme UML de la classe Exploitant. mAJ = mise à jour.

19 Le diagramme UML[3] présente les principales caractéristiques (attributs et procédures) de la classe #ZoneNappe. Retenons que les zones de la nappe sont dotées d'une profondeur, d'un niveau piézométrique, d'un paramètre de sensibilité au forçage, d'un apport en eau. Elles sont susceptibles de réagir aux apports ainsi qu'aux prélèvements, en fonction de leurs caractéristiques hydrogéologiques, et d'échanger entre elles selon le gradient piézométrique qui les sépare. Les zones de la nappe peuvent intégrer les prélèvements qui leur ont été transmis par les puits et les périmètres qui l'exploitent (procédures 2 et 3), et réajuster leur profondeur en conséquence (procédure 6) en vertu d'un paramètre de sensibilité au forçage (attribut b). Des transferts souterrains ont lieu entre les zones en fonction de leurs différences de niveaux piézométriques, ce qui entraîne un réajustement des niveaux (procédure 8). Les prélèvements en eau potable sont définis selon une fonction d'évolution fidèle aux tendances actuelles, au niveau de chaque zone de la nappe (procédure 4). La nappe est alimentée par des apports moyens (attribut h) : écoulements souterrains sous-jacents au barrage et ruissellements des piémonts.

Représentation des usagers

20 Nous avons fait le choix de ne représenter parmi les acteurs du systèmes que les agriculteurs, qu'ils soient irriguants privés, en collectivité, ou non irriguants. Les 330 agriculteurs du modèle sont représentés par le même type d'agent #Exploitant, dont le comportement dépend d'une combinaison de facteurs locaux.

21 Les règles d'action de ces agents sont basées sur les enquêtes réalisées au cours de notre travail, sur un travail bibliographique de la zone étudiée, et sur des hypothèses. Les instances de la classe #Exploitant, entité sociale qui hérite de la super-classe #AgentCommuniquant (fig. 2), sont dotées d'attributs caractérisant leur situation familiale, leur parcellaire, leurs contraintes d'accès à l'eau, leur épargne. Elles sont susceptibles de prendre des décisions tactiques (prise ou don de parcelles en faire valoir indirect, assolement saisonnier de leur parcelle, diversification des revenus, etc.), ou stratégiques (construction d'un puits avec possibilité de s'associer avec un voisin si nécessaire, achat ou vente d'une parcelle, etc.).

22 Les exploitants peuvent s'envoyer des messages pour les échanges de parcelles et les associations. Les exploitants sont caractérisés par leur famille (attribut a), la structure de leur exploitation (attributs b, c, g), leur situation économique (attributs d, e, f). Ils peuvent prendre des parcelles voisines en faire-valoir indirect (procédures 3 et 8) ou s'associer à un voisin pour construire un puits (procédures 7 et 9) pour s'affranchir en partie des limites de leur condition. Ces interactions locales entre agriculteurs semblent avoir un impact sur la dynamique globale, que les simulations permettront d'évaluer.

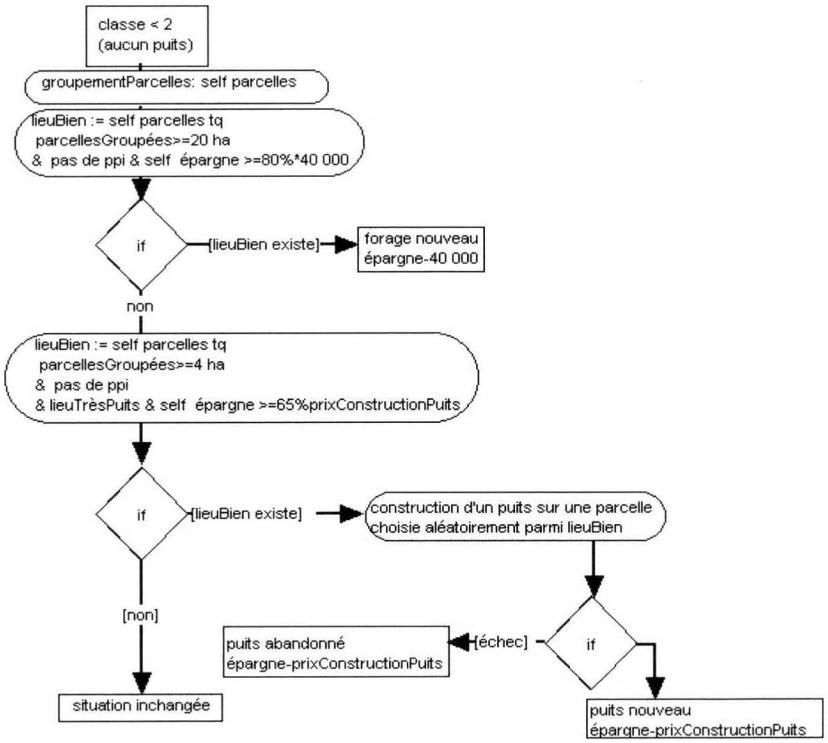


Figure 3. Diagramme UML de la procédure « faitUnPuits ». LieuPuits = lieu intéressant pour la construction d'un puits.

23 Dans certaines conditions, l'exploitant peut vouloir construire un puits. Nous présentons ici la procédure de construction d'un agent qui n'a initialement aucun puits (fig. 3). Cet agent regroupe d'abord ses parcelles adjacentes de manière à obtenir une surface suffisante, afin de rentabiliser la construction. Il ne s'engage dans la construction d'un forage profond que dans certaines conditions de surface et d'épargne. Dans le cas contraire, il sélectionne les groupes dont les parcelles sont aptes à la construction du puits. Elles doivent pour cela remplir plusieurs conditions :

- la parcelle sur laquelle se construit le puits ne doit pas avoir été irriguée depuis au moins un an ;
- son voisinage (au plus d'ordre 2) doit comporter des puits dont les propriétaires réussissent (ce qui se traduit par un niveau de revenu fixé à 1 000 dinars tunisiens), ce facteur exprimant l'importance de la pression sociale, du phénomène d'imitation, et indiquant un accès probable à la nappe ;
- son voisinage (d'ordre 1 et d'ordre 2) ne doit pas comporter de puits abandonné ;
- l'exploitant doit disposer de 65 % au moins du coût potentiel de construction, lequel est connu grâce à la profondeur des puits voisins ;
- si la parcelle est en petit périmètre irrigué (PPI), la construction reste justifiée à condition que le rapport entre le prix de l'eau et le coefficient d'efficience soit élevé (le seuil a été fixé à 0,1, en référence au prix actuel de l'eau et au plus petit coefficient d'efficience).

24 S'il possède des parcelles remplissant ces conditions, l'exploitant en sélectionne une aléatoirement et y construit son puits. Dans la réalité, cette sélection dépend de la combinaison de plusieurs paramètres difficiles à prendre en compte ici (attachement à la terre, qualité du sol, éloignement du domicile...), dont la hiérarchie varie suivant les individus. La construction d'un puits peut déboucher sur un échec, selon la profondeur

d'accès de la nappe (au-delà de 70 m, le creusage devient techniquement difficile) et en fonction d'une probabilité représentant la structure lenticulaire de la nappe (présence de lentilles imperméables infranchissables ou au contraire de bancs de sable).

A l'interface entre ressource et usagers : les parcelles, les puits et les périmètres irrigués

25 Les interactions du système qui semblent importantes par rapport à la question étudiée, à l'intérieur du groupe des exploitants et entre exploitants et ressource, mettent en jeu :

- les parcelles des exploitants (qui conditionnent leur accès et leur demande en eau) ;
- et les deux types d'accès à l'eau que sont les puits et les périmètres collectifs irrigués. Ces derniers sont caractérisés par un forage collectif, un prix de l'eau qui progresse au fil du temps et une plus ou moins bonne efficience de la distribution.

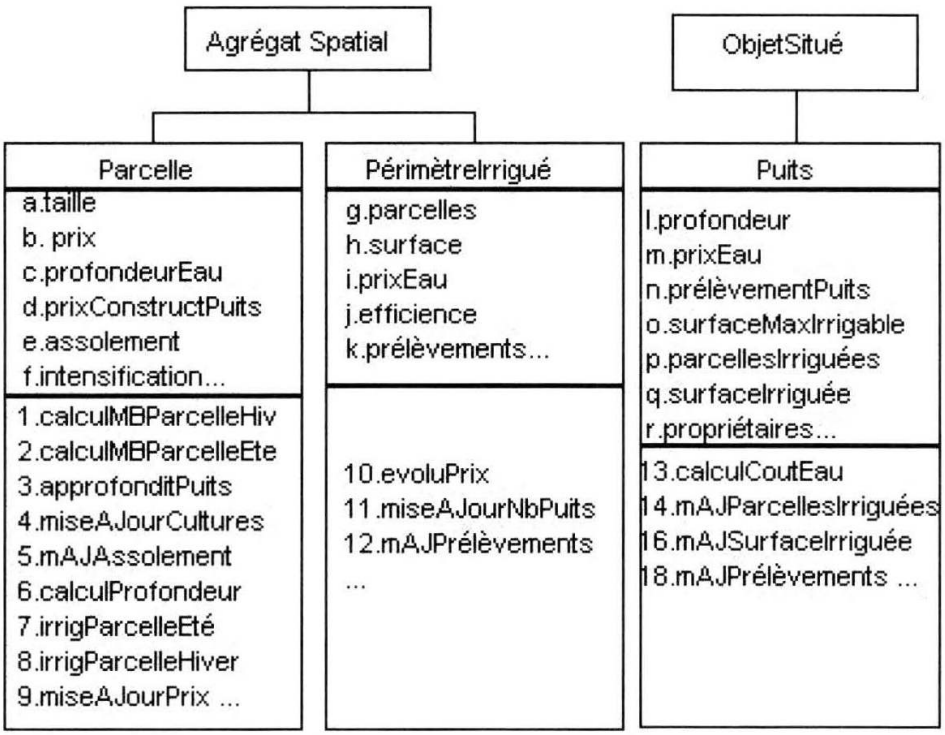


Figure 4. Diagramme UML des classes #Parcelle, #PPI, #Puits. mAJ = mise à jour ; MB = marge brute.

26 Comme le montre la figure 4, les objets parcelles sont caractérisés par leur taille, leur prix (évolutif, selon l'accès à l'eau et le voisinage), leur assolement fixé à la saison (méthodes 4, 5, 7 et 8), leur accès à l'eau. Le prix de construction d'un puits dépend de la profondeur de l'eau (attribut c, remis à jour selon l'abaissement de la nappe par la méthode 6). Les marges brutes saisonnières sont calculées au niveau des parcelles (1 et 2). Les objets PPI ont un prix de l'eau (1, qui évolue annuellement selon la méthode 10) et intègrent les prélèvements des parcelles qui les constituent. L'efficience technique de la distribution du point d'extraction à la plante est caractérisée par (g) pour les parcelles, et remplacée par (k) en PPI, compte tenu des pertes en amont de la parcelle. Les objets PPI sont également caractérisés par une efficience de gestion (i), qui recouvre à la fois le type de gestion, la longueur des tours d'eau, la fréquence des pannes...

27 Les objets puits ont un coût d'extraction de l'eau (o) calculé selon la procédure 13 en fonction de la profondeur (n). Chaque saison, ils irriguent une ou plusieurs parcelles (15) selon leur capacité (q, qui dépend de leur équipement) et la stratégie de leur propriétaire.

28 Si la carte des périmètres irrigués a été saisie (tout comme celle de la nappe), le nombre important des parcelles (environ 800 étant donnée la surface représentée dans le modèle) et le nombre de contraintes à respecter (taille, dispersion) nous ont dissuadé de saisir cette information à partir d'une carte : il s'est avéré plus commode de générer un parcellaire automatiquement, en respectant la distribution des classes de taille, la cohésion des parcelles et leur distribution aléatoire dans l'espace. De même, le regroupement des parcelles en exploitations repose sur un algorithme contraint par les classes de taille observées sur le terrain, la proximité relative des parcelles et la distribution aléatoire des exploitations de tailles différentes sur la zone (rappelons que, dans le modèle, les exploitations ne sont pas des objets spatiaux mais simplement des unités de gestion). La localisation des puits à l'initialisation est également générée en respectant les données de terrain.

Les interactions entre ressource et usagers

29 Les entités spatiales et sociales fonctionnent de manière autonome, chacune avec ses règles d'action, et interagissent entre elles (fig. 5). Les exploitants procèdent à des échanges fonciers et à des décisions d'assolement. L'irrigation des parcelles[4] entraîne un prélèvement au niveau des points d'eau qui transmettent l'information à la zone de la nappe à laquelle ils sont rattachés. Celle-ci réagit en s'abaissant, et le gradient piézométrique résultant entraîne des transferts de volume entre zones. Chaque ZoneNappe communique sa nouvelle profondeur aux parcelles ce qui peut donner lieu à un approfondissement des puits (sous réserve de non endettement). Les résultats de chaque campagne agricole sont calculés et en fin d'année, selon sa trésorerie, son épargne et sa situation, l'agriculteur peut envisager la construction d'un puits (au besoin en s'associant avec un voisin) ou bien l'achat ou la vente d'une parcelle. Compte-tenu des nombreux processus formalisés et des incertitudes sur le système, le modèle est régi par une quarantaine de paramètres, parmi lesquels des paramètres économiques (aléa sur la valorisation de l'épargne, prix des intrants et produits agricoles, seuils d'endettement pour la vente de parcelle...), des paramètres sociaux (nombre minimal d'actifs pour la construction d'un puits, portée des interactions...), des paramètres techniques (profondeur limite du creusage, capacité moyenne d'irrigation des puits...) et des paramètres liés au milieu (transmissivité et porosité des zones de la nappe, apports à la nappe, climat...). La modélisation de type SMA permet en effet de représenter des systèmes comportant un grand nombre de paramètres. Ces paramètres sont inventoriés et soumis à une analyse de sensibilité partielle (Feuillette, 2001).

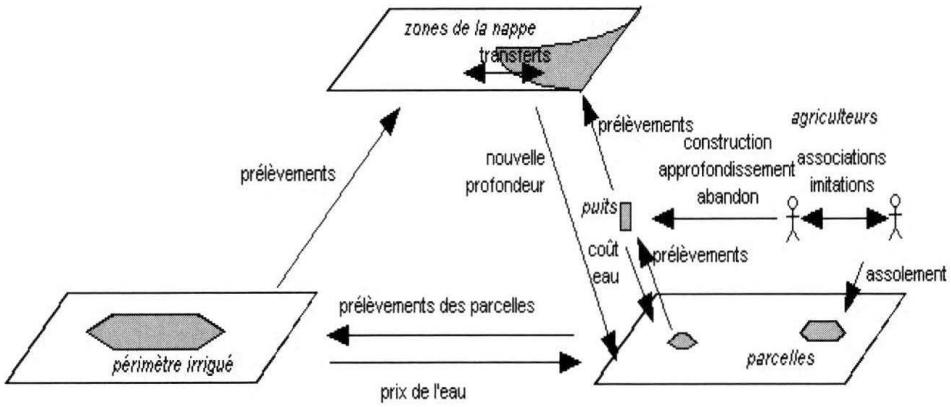


Figure 5. Principales interactions entre entités du modèle Sinuse.

Le modèle en fonctionnement

Déroulement d'un pas de temps

30 La figure 6 représente le fonctionnement simplifié[5] du modèle en UML. Par cet algorithme, le contrôleur de la simulation ordonne le déroulement d'un pas de temps, en « passant la main » à tour de rôle aux différentes classes, qui actionnent leurs méthodes propres, parfois sous conditions, et dans un ordre chronologique donné.

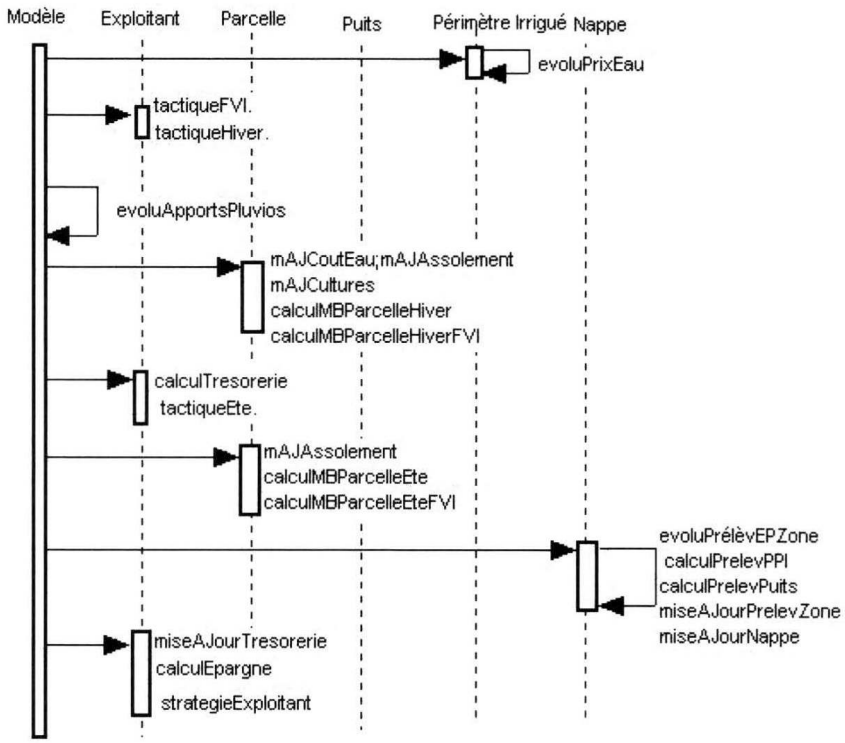


Figure 6. Diagramme de séquence simplifié du modèle Sinuse. Chaque classe est figurée par une ligne verticale en pointillés ; l'activation des objets de la classe est matérialisée par un rectangle sur sa ligne de vie. Les objets communiquent en échangeant des messages représentés au moyen de flèches horizontales, orientées de l'émetteur vers le destinataire. mAJ = mise à jour ; MB = marge brute ; EP = eau potable.

31 On retrouve dans la figure 6 les procédures schématisées dans la figure 5 :

- un pas de temps d'une année découpé en deux saisons, avec des règles d'action tactiques des exploitants (une règle annuelle d'échange foncier, « tactiqueFVI », et des règles saisonnières d'irrigation, « tactiqueHiver » et « tactiqueEté ») ;
- l'abaissement des zones de la nappe en réaction aux prélèvements, « miseAJourNappe », qui entraîne implicitement l'approfondissement du puits si nécessaire ou son abandon ;
- un investissement stratégique en fin d'année ou au contraire une décapitalisation, « stratégieExploitant », selon le niveau d'épargne ;
- des possibilités d'interactions entre agriculteurs, enclenchées par la procédure « strategieExploitant » (association pour la construction d'un puits, vente ou achat d'une parcelle, association foncière à moyen terme pour la construction d'un puits).

32 Les simulations sont lancées sur 30 pas de temps. En effet, les scénarios simulés ne peuvent être interprétés au-delà de cette période, des bouleversements techniques, économiques ou politiques ayant toute chance de survenir, et le système devenant sensible au-delà du fait de certains processus non pris en compte (morcellement des parcelles par héritage).

Évolution du système au cours d'une simulation

33 La dynamique d'évolution des puits sur 4 pas de temps est illustrée par la figure 7. Les puits sont initialement concentrés dans les zones peu profondes de la nappe. La succession de ces images permet d'observer le processus d'apparition des puits : la construction de puits étant encouragée par la présence de puits dans le voisinage immédiat, la progression des puits se fait plus par densification de zones déjà occupées que par colonisation de zones pionnières. Un coefficient d'aversion au risque permet d'exprimer la faible propension à construire dans les zones non colonisées que l'on observe dans la réalité.

34 Ainsi, parmi les nombreux puits qui se construisent au fil de ces quatre années, un seul apparaît en zone vierge (à la deuxième image), aussitôt suivi d'autres constructions de puits dans son voisinage. Le rythme d'apparition des puits ralentit très vite du fait des contraintes de construction (parcellaire, épargne, voisinage) et de l'abaissement de la nappe (augmentation des coûts de construction). Deux puits sont abandonnés suite à leur approfondissement en zone peu favorable.

35 Le suivi graphique d'indicateurs globaux tels que la profondeur moyenne de la nappe, le nombre de puits, le nombre d'exploitant en faillite, le nombre de terres échangées, permet d'analyser l'évolution du système au cours des simulations et d'évaluer la cohérence des processus (Feuillette *et al.*, 2000). Le traçage au cours du temps des agents et des objets permet également de suivre le déroulement d'une simulation, et peut notamment être utilisé pour vérifier la cohérence des trajectoires individuelles.

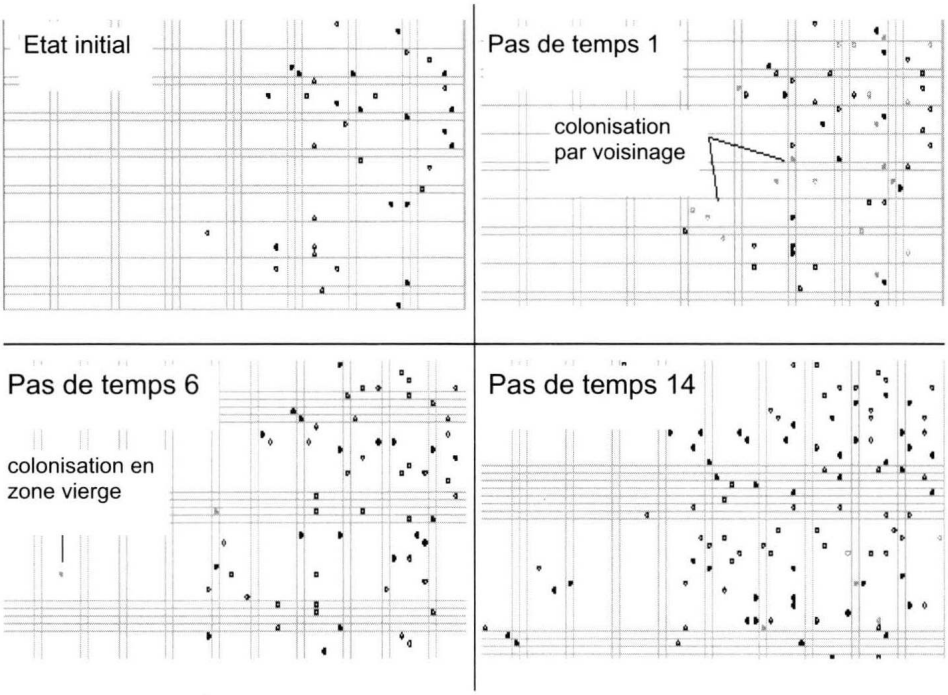


Figure 7. Visualisation de la dynamique d'apparition des puits sur l'interface spatiale de Cormas. Les puits anciens figurent en noir, les nouveaux en grisé.

Conclusion et discussion

36 Le calage et la validation de ce type de modèle ne correspondent pas aux opérations classiquement décrites en modélisation mathématique, du fait du grand nombre de paramètres et de la formalisation de comportements humains (Barreteau, 1998). Néanmoins, le modèle Sinuse a été soumis à une série de tests inspirés des procédures classiques de vérification et validation, afin d'être « accrédité » (Feuillette, 2001). Ces opérations ont notamment permis de montrer (i) que l'évolution des principaux indicateurs correspond bien aux tendances observées sur le terrain ; (ii) que malgré sa variabilité aléatoire, le système modélisé suit toujours les mêmes trajectoires d'évolution ; (iii) que le modèle réagit correctement à différents tests de mise en situations extrêmes. Ces expériences ont donc conduit à accroître la confiance du modélisateur et des usagers potentiels dans le modèle. Par ailleurs, elles ont révélé certaines distorsions du modèle par rapport à la réalité, dont l'origine est attribuée à différentes incertitudes dans la formalisation des comportements économiques des agents, qui reposent surtout sur des hypothèses, faute d'un retour post-modélisation sur le terrain. Ces comportements gagneraient à être soumis à la critique des exploitants, en d'autres termes à une « validation sociale » (Barreteau et Bousquet, 1999).

37 Le modèle Sinuse mériterait donc d'être encore amélioré par l'approfondissement des connaissances de plusieurs paramètres, notamment des règles de comportement des acteurs. Mais tel quel, il permet déjà d'explorer la sensibilité du système aux paramètres et aux interventions. Notre démarche nous a permis jusqu'alors :

- d'interroger les données efficacement pour faire émerger d'une multitude de facteurs les variables et les comportements les plus importants relativement à la question ;

- de rendre compte du lien entre une dynamique globale et une multitude d'actions et d'interactions individuelles ;
- de formaliser un système extrêmement complexe, en respectant la structure objectale et la variété des descripteurs (Ferrand et Deffuant, 1998).

38 En cela, le modèle a constitué une aide considérable au traitement des données, à la compréhension du système et au transfert des connaissances acquises. La simulation de plusieurs types de scénarios d'intervention montre que ce modèle est susceptible d'éveiller des questions sur les effets inattendus de certains outils de gestion de la demande (Feuillette *et al.*, 2000). De plus, il permet d'explorer les situations les plus improbables ou de simuler des scénarios fictifs de changement de règles. Par la suite, il peut donc constituer un support intéressant pour mener des discussions sur la gestion du système, entre les directions techniques du Ministère de l'agriculture et les institutions locales.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Anda-Irrimieux, 1999 – *Gestion collective d'une ressource commune : des "droits à l'eau" à la gestion collective de l'eau.* Doc. Association nationale pour le développement agricole, Paris, études de cas, t. 1 et 2.

Barreteau O., 1998 – *Un Système Multi-Agent pour explorer la viabilité des systèmes irrigués : dynamique des interactions et mode d'organisation.* Thèse doct., univ. Montpellier, Engref.

Barreteau O., Bousquet F., 1999 – « Jeux de rôles et validation des systèmes multi-agents ». *In* Gleizes M.-P., Marcenac P. (éd.) : *Ingénierie des systèmes multi-agents,* Hermès Sciences publ., Paris : 67-80.

Besbes M., 1971 – Wofe *sur la géométrie du réservoir profond de la plaine de Kairouan.* Doc. DRE, Tunis.

Besbes M., 1975 – *Etude hydrogéologique de la plaine de Kairouan sur modèles mathématiques.* Doc. DRE, Tunis.

Besbes M., de Marsily G., 1976 – « L'analyse d'un grand réservoir aquifère en vue de sa modélisation ». *In : L'hydrologie des grands bassins sédimentaires,* conf. AISH, Budapest.

Blomquist W., 1992 – *Dividing the Waters - Governing Groundwater in Southern California.* ICS Press, San Francisco.

Bousquet F., Barreteau O., Mullon C, Weber J., 1996 – « Modélisation d'accompagnement : systèmes multi-agents et gestion des ressources renouvelables ». *In : Quel environnement au XXI^e siècle ?* coll. int., sept. 1996, Abbaye de Fontevraud.

Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C, 1998 – CORMAS : common-pool resources and multi-agent Systems. *Artifical intelligence,* lecture notes, 1416 : 826-838.

Burke J.-J., Sauveplane, C, Moench M., 1999 – Groundwater management and socio-economic responses. *Natural Resources Forum,* 23 : 303-313

Castany G., 1968 – *Aménagement des oueds Zeroud et Merguellil - Alimentation des nappes de la plaine de Kairouan par les eaux des oueds Merguellil et Zeroud.* Doc. Orstom, Tunis, 15 p.

Chaieb H., 1990 – *Modèle de Kairouan : effet de la fermeture des barrages et des lâchures d'eau dans les lits des oueds sur la nappe de Kairouan.* Doc. DGRE, Tunis

Ferrand N., Deffuant G., 1998 – « Trois apports potentiels des approches "multi-agents" pour l'aide à la décision publique ». *In : Gestion des territoires ruraux, connaissances et méthodes pour la décision publique,* Cemagref, Clermont-Ferrand, 1 : 373-385.

Feuillette S., 2001 – *Vers une gestion de la demande sur une nappe en accès libre : exploration des interactions ressource/usages par les systèmes multi-agents. Application à la nappe de Kairouan, Tunisie centrale.* Thèse doct., univ. Montpellier II.

Feuillette S., Garin P., Bousquet F., Le Goulven P., 2000 – « Un modèle d'exploration des dynamiques nappe-usages pour la gestion intégrée d'une nappe surexploitée ». *In : Hydrologie des régions méditerranéennes,* actes de colloque, IRD-Unesco, 11-13 octobre, Montpellier.

Laurent A., 1993 – *La gestion en bien commun des eaux souterraines : La nappe des sables astiens de Valras (Hérault), une opération pilote en Languedoc-Roussillon.* Thèse doct., univ. Montpellier II.

Lièvre P., Traoré M. K., 1998 – « Prospective en milieu rural, modélisation des systèmes complexes et intelligence artificielle distribuée ». *In : Gestion des territoires ruraux, connaissances et méthodes pour la décision publique,* Cemagref, Clermont-Ferrand : 343-357.

Montginoul M., 1998 – « Des instruments économiques pour la gestion de l'eau : concurrence ou complémentarité ? » *In : L'irrigation et la gestion collective de la ressource en eau en France et dans le monde,* colloque SFER, 19-20 novembre 1998, Montpellier.

Muller P.-A., 1998 – *Modélisation objet avec UML.* Eyrolles, Paris Nazoumou Y., Besbes M., sous-presse – « Recharge assessment and groundwater modelling in arid conditions. Case study at Kairouan, Tunisia ». *In* Gehrels H. (éd.) : actes 6e *assemblée scientifique AISH,* 18-27 Juillet 2001, Maastricht.

Ollagnon H., 1990 – « Stratégie patrimoniale pour les gestion des ressources et des milieux naturels – Approche intégrée de la gestion du milieu rural ». *In : Gérer la nature :* 195-222

Palmer-Jones R., 1997 – « Groundwater management in South Asia : what role for the market ? » *In* Melvyn Kay L. S. (éd.) : *Water : économies, management anddemand,* E & FN Spon : 381-389.

Strosser P., 1997 – *Analyzing alternative policy instruments for the Irrigation sector-An assessment of the potential for water market development in the Christian sub-division, Pakistan.* PhD thesis, Wageningen.

NOTES

1. Pour Merguellil : ressources, gestion et usages intégrés de l'eau.
2. Common-pool ressources and multi-agent Systems, programme développé dans l'environnement de programmation *Visualworks.*
3. "Unified modelling language", selon les modèles proposes par Muller (1998).
4. Les demandes en eau des cultures reposent sur une estimation des besoins en eau calculée par bilans hydriques à partir de l'évapotranspiration locale, des coefficients culturaux, de l'efficience moyenne des systèmes de distribution, et des enquêtes effectuées localement.

5. Les envois de messages intra-procéduraux et la mise à jour des variables ne figurent pas sur ce schéma.

AUTEURS

SARAH FEUILLETTE

Modélisatrice. Lab. d'informatique appliquée, IRD, 32 av. Henri Varagnat, 34090 Bondy, France, Sarah.Feuillette@bondy.ird.fr

FRANÇOIS BOUSQUET

Modélisateur. Cirad-Tera, Baillarguet Bat E, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France, bousquet@cirad.fr

PATRICK LE GOULVEN

Hydrologue. Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, Patrick.LeGoulven@mpl.ird.fr

La modélisation intégrée d'un écosystème inondable

Le cas du delta intérieur du Niger

Marcel Kuper, Christian Mullon, Yveline Poncet, Elisabeth Benga, Pierre Morand, Didier Orange, Gil Mahé, Robert Arfi et Fantagoma Bamba

---

1 La modélisation des écosystèmes exploités demande un effort de recherche spécifique compte tenu de la diversité des processus à représenter, de la multiplicité des échelles et des niveaux d'organisation. Plus qu'utiliser ou adapter les outils existants, il est nécessaire conjointement en développer des spécifiques et réfléchir à une méthodologie de leur emploi. Le questionnement principal reste à savoir comment formaliser les systèmes physiques, biologiques et anthropiques de manière à anticiper leur dynamique.

2 Ce questionnement scientifique passe par cinq étapes de réflexion structurant la démarche de recherche : (1) définition des sous-systèmes en interaction ; (2) définition des relations d'échelle temps – espace, inter et intra (*e.g.* Blöschl et Sivapalan, 1995) ; (3) choix des modalités de construction pour chaque sous-système ; (4) tests de stabilité numérique de la somme des constructions ; (5) et enfin calage, validation, robustesse.

3 Lors de chacune de ces cinq étapes, il est primordial de garder en tête que la faisabilité de l'opération n'est pas résolue d'avance. C'est seulement la réalisation de ces cinq étapes qui permettra d'envisager s'il est possible de représenter (formaliser, modéliser) un tel système et avec quelle validité.

4 En raison de sa complexité et des enjeux en cours, la modélisation de l'écosystème exploité du delta intérieur du Niger constitue un cas exemplaire pour l'élaboration des outils spécifiques et à l'émergence de la méthodologie recherchée. Cela s'est concrétisé dans la définition des processus à retenir, des niveaux d'organisation à considérer, des scénarios de modélisation à mettre en œuvre. Cela est lié à la bonne connaissance antérieure de ce système (*e.g.* Brunet-Moret *et al.*, 1986 ; Gallais, 1984 ; Quensière, 1994 ; Olivry, 1995), à l'échelle géographique large retenue (celle de tout le delta), à la perspective de gestion recherchée, et aux premiers choix en matière d'architecture informatique basée sur l'imbrication de couches correspondant aux niveaux d'organisation.

5 En nourrissant les discussions entre acteurs, en quantifiant l'impact des événements et des interventions sur le fonctionnement du delta, un modèle intégré devient un élément d'une approche intégrée dont le caractère est itératif : le modèle doit permettre de mieux expliciter et détailler les questions pertinentes de gestion (Kuper *et al.*, 1999). Le cheminement suivi a consisté dans le développement dès le début du projet d'une maquette du modèle intégré, puis dans l'organisation de séances de restitution et de discussion (de Noray, 2000). Cette démarche itérative a permis un développement progressif de la maquette, et surtout une prise de conscience par les acteurs de la nécessité d'intégration des actions de développement à mener. L'opération de modélisation intégrée, tient donc une place centrale dans le développement du projet de recherche. Elle joue un rôle fédérateur et stimulateur des différentes disciplines depuis les sciences de la nature jusqu'aux sciences humaines.

Le delta intérieur du Niger

6 Dans l'écosystème du delta intérieur du fleuve Niger au Mali, régime hydrologique, dynamique de l'environnement naturel et activités humaines (pêche, agriculture, élevage) sont étroitement associés (Gallais, 1984 ; Poncet et Orange, 1999). Ce système est intermédiaire entre des systèmes naturels (bassin de l'Amazone) et des systèmes fluviaux fortement modifiés par l'homme (aménagements sur le Sénégal). La question de la durabilité des modes d'exploitation par l'homme d'un tel milieu est cruciale : un enjeu important du développement du delta est d'assurer la transition entre une situation d'intensification de l'exploitation et une situation de gestion des ressources en tenant compte à la fois de la dynamique à long terme des systèmes physiques, biologiques et anthropiques et des besoins et des usages des populations.

7 Le delta intérieur malien constitue la plus vaste zone humide d'un pays soumis à un climat sec. Le delta regroupe un dixième de la population du Mali (975 000 habitants recensés en 1998) sur une étendue de 30 000 km^2 environ, et produit un dixième du produit intérieur brut rural. Il est fréquenté chaque année par un peu moins de 2 millions de têtes de bovins et autant d'ovins et caprins selon le recensement du ministère du Développement rural et de l'Eau en 1992. Les rizières non-aménagées (à submersion libre) couvrent une superficie variant chaque année entre 50 000 et 130 000 ha avec un rendement moyen inférieur à une tonne par hectare selon le ministère du Développement rural et de l'Eau en 1999. La production de pêche dépasse 100 000 tonnes les années de bonne crue (Breuil et Quensière, 1995).

8 Le programme de recherche Gihrex (*Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation*) conduit par l'IRD a eu pour objectif la compréhension de la dynamique naturelle du delta, la connaissance de ses modes d'exploitation et l'analyse de leur durabilité. En fait, il s'agissait de faire reconnaître le delta dans son ensemble comme une unité de gestion en essayant d'anticiper ses évolutions futures (Kuper *et al.*, 1999). Comment ce système naturel va-t-il se transformer sous : la pression foncière et démographique, les changements climatiques, l'évolution technique, l'impact d'aménagements hydrauliques, l'impact d'aménagements agricoles, la décentralisation administrative ?

9 La modélisation est utilisée comme un outil permettant de combiner une approche écologique de la dynamique des ressources et une approche socio-économique des

activités humaines, de formaliser des interactions spatiales dans une dynamique temporelle, et ainsi de mieux comprendre le fonctionnement d'un écosystème exploité. Ainsi les attendus de la modélisation sont tout à la fois la description du système, l'analyse et la compréhension de son fonctionnement, la simulation de son évolution.

Le logiciel

10 La configuration du modèle intégrée du delta intérieur du Niger est modulaire, les modules sont thématiques. Chaque module correspond à un type de processus. Le concept informatique de couche permet de bien marquer que chaque module représente une dynamique spatiale. L'avantage d'une telle configuration est qu'elle permet de développer et d'améliorer ces modules indépendamment, et qu'elle permet des calculs thématiques, qui peuvent être vérifiées et analysées. Les articulations entre les modules thématiques sont commandées par une horloge. Dans l'état actuel de la conception, le modèle a trois fonctions principales :

- *simulation et animation graphique* de l'ensemble des processus modélisés ou d'un seul processus ;
- *analyses de sensibilité* de certains paramètres influents ;
- *comparaison de scénarios* en accordant des valeurs différentes aux paramètres de simulation.

11 Le modèle assure les sorties suivantes : visualisations des données ou de la connectivité du système (figure VII-a, hors texte), animation du déroulement d'une simulation, cartographies des résultats d'une simulation, comparaisons des résultats de deux simulations différentes (figures VII-b et VIII-a, hors texte), analyses de sensibilité (figure VIII-b, hors texte). Enfin, le modèle *Midin* est accessible *via* Internet[1]. Il s'exécute dans un environnement compatible Java2 pour deux types de version du logiciel : l'une peut être exécutée *via* Internet à partir d'un navigateur web ; l'autre peut être exécutée de façon autonome sur un micro-ordinateur. Un manuel d'utilisation est consultable sur le web *via* le même site.

Echelles, entités, principes de modélisation

Echelles et entités

12 Il a été décidé de choisir une extension et une échelle spatiale communes à tous les processus, puis de représenter dans cet espace la dynamique du système en considérant l'évolution d'entités représentatives. L'extension spatiale du modèle est celle du delta inondable tout entier, de Ké-Macina à Tombouctou. Les entités correspondent aux unités hydrologiques (plaines, lacs ou chenaux), aux groupes de pêcheurs, d'agriculteurs et d'agro-pêcheurs, aux troupeaux, aux zones de pêche, d'agriculture et d'élevage. L'échelle temporelle qui a été retenue est la quinzaine de jours. Les simulations portent sur une durée de trois ans.

13 Les entités hydrologiques sont définies à partir de leur fonctionnalité hydrologique et de leurs caractéristiques géographiques et géométriques. On distingue (Poncet *et al.*, 2000) :

- les chenaux, par lesquels transitent les flux d'eau, schématisés par des segments de droite ;
- les connexions, points de contact sur lesquels se divisent ou se rejoignent les flux d'eau ;
- les plaines inondables et les lacs, aires de stockage permanent ou temporaire de l'eau, schématisés par des cercles.

14 L'hydrosystème est donc représenté par des traits (chenaux, rivières, fleuve), des cônes (lacs, plaines) et des nœuds (défluences, confluences). La représentation des objets hydrogéographiques du delta fait intervenir 109 objets répartis comme suit : 7 lacs, 12 plaines et 90 segments (fig. 1). Ces objets constituent la matrice de l'organisation des données et de l'application des mécanismes qui nourrissent le modèle. En effet, la disponibilité en eau intervient dans tout le système, ce qui fait de l'eau la variable explicative principale. La couche thématique d'hydrologie est donc structurée à un niveau supérieur par rapport à toutes les autres couches.

15 Les autres entités spatiales sont les zones agricoles (68 zones), les zones de pêche (101 zones), les zones d'élevage (74 zones, dont 60 à l'intérieur du delta). Chacune est rattachée à un objet hydrologique. La différence en nombre d'entités spatiales pour les systèmes de production est liée à la morphologie du milieu : par exemple, un lac permanent ne se prête pas à l'agriculture.

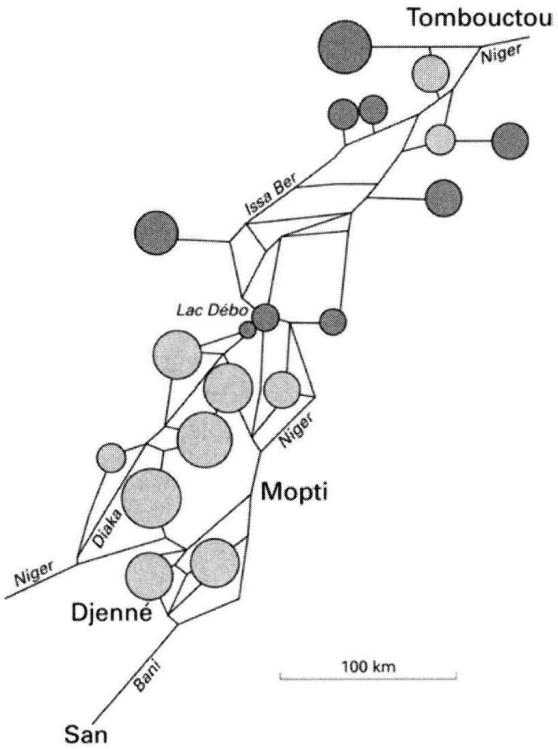


Figure 1. Les entités hydrologiques : chenaux, connexions, plaines et lacs.

16 Enfin, d'autres entités représentent les groupes d'exploitants[2] ; elles sont rattachées à leur zone d'origine, mais peuvent également aller dans d'autres zones d'exploitation (*principe de mobilité*). Cette exploitation est déterminée dans le delta par des conventions traditionnelles (Marie, 1983 ; Gallais, 1984 ; Baumann *et al.*, 1994), par exemple des liens de parenté (*principe de connectivité*).

Un modèle spatial et de comportements

17 La notion d'espace géographique est utilisée comme une interface pour comprendre, saisir et représenter les processus de la production naturelle de ressources et les processus de leur exploitation. Le delta comme région naturelle a été défini

géographiquement par le périmètre de l'inondation fluviale et fonctionnellement comme un réseau orienté et ouvert. Les entités retenues :

- ont un sens géographique précis puisqu'elles sont référencées à leur place exacte et que leurs positions relatives sont respectées ;
- ont un sens hydrologique ;
- ont un sens socio-économique puisqu'elles correspondent aux secteurs de renouvellement naturel, de prélèvement et de production par l'homme des ressources naturelles de l'aire inondable.

18 La géographie de la région naturelle est donc un moyen de restituer la complexité de l'écosystème et de comprendre la signification de chaque élément dans l'ensemble. La connectivité du système, en fait les connexions hydrographiques, les itinéraires de migration, les droits de pêche, en constitue une composante essentielle. L'une des conséquences de ce choix spatial est la présentation des résultats sous la forme de cartes et de données localisées.

19 Par contre, ce ne sont pas les stratégies ni les modes de décision des agents économiques qui sont représentées dans le modèle. Ce sont les comportements – et en particulier les comportements spatiaux – de groupes homogènes d'individus, tels qu'ils ont été décrits dans différents travaux de recherche portant sur le delta (Quensière, 1994). Le modèle ne représente pas une unité de production avec un objectif de revenus et des règles de gestion, dont elle déduit un comportement de production. Le modèle représente un groupe d'unités de production résidant dans un village avec un comportement donné en matière de production et de migration. L'hypothèse est donc que le comportement spatial des agents est fortement structuré, et qu'à court terme, la structuration induite est stable. Elle peut donc être quantifiée et servir de base à des extrapolations. C'est une des raisons qui ont conduit à retenir une extension temporelle de trois ans pour les simulations. A plus long terme, cette hypothèse n'est plus tenable, les changements des conditions impliquant forcément des évolutions dans les comportements.

Mécanismes

Hydrologie : un modèle de réservoir

20 Les hauteurs d'eau ont été estimées pour tous les objets hydrologiques à tous les pas de temps à partir des observations pendant la période 1993-1996. A chaque pas de temps, la connaissance des hauteurs d'eau permet de calculer les surfaces inondées des plaines et des lacs. Représenté sous forme de cône, le rayon réel est fonction de la hauteur d'eau réelle et de la géométrie de l'objet : altitude du fond, profondeur maximale et rayon de l'objet (respectivement le rayon minimal en étiage et le rayon maximal en crue) :

21 $R(t) = r_{min} + (r_{max} - r_{min})\ h(t)/P$ *Équation 1*

22 avec :

23 R(t) rayon réel (km) au temps t,

24 r_{max} rayon à inondation maximale (km),

25 r_{min} rayon à inondation minimale (km), égale souvent 0,

26 h(t) hauteur d'eau (m) au temps t,

27 P profondeur de l'objet à inondation maximale (m) ; le rayon réel égale donc le grand rayon à cette hauteur d'eau.

28 La surface inondée à l'étape t est ensuite calculée en fonction du rayon réel. La surface inondée des segments est calculée en fonction de la longueur du segment qui est fixe et de sa largeur qui varie entre largeur lit mineur et largeur lit majeur.

Données hydrologiques

29 Pour les entités hydrologiques, on dispose de leurs caractéristiques hydrographiques (rayon à vide, rayon à plein, hauteur maxima, cote IGN) et des hauteurs d'eau observées pendant 3 années, de 1993 à 1995. En effet, les simulations sont basées sur la crue de 1993/94 (qualifiée de mauvaise crue), celle de 1994/95 (bonne crue) et celle de 1995/96 (crue moyenne). Les hauteurs d'eau ont été calculées à partir des observations journalières par la Direction nationale de l'hydraulique (DNH) pour les 18 stations limnimétriques. Ces données ont été critiquées et analysées dans la base de données Hydrom (Boyer *et al.*, 1994) et interpolées sur l'ensemble des objets hydrologiques. L'interpolation est basée sur des corrélations stochastiques (Auvray, 1960 ; Brunet-Moret *et ai,* 1986 ; Marieu *et* a/., 1998).

Données pour intégrer des hypothèses d'aménagement

30 *Midin* a été conçu pour permettre de simuler l'impact d'aménagements hydrauliques ou hydroagricoles sur les écoulements et les systèmes de production du delta. Deux projets d'aménagement différents ont été pris en compte :

- la construction éventuelle d'un aménagement à l'amont du delta (les barrages en projet de Fomi en Guinée et de Talo au Mali) ;
- la construction éventuelle d'un aménagement hydroagricole à l'aval du delta (le projet du barrage de Tossaye).

31 Ces aménagements sont prévus par les gouvernements concernés (la Guinée, le Mali) et ont des impacts considérables sur les écoulements dans le delta.

Aménagement en amont

32 Un barrage à l'amont du delta, tel que le barrage de Sélingué, constitue en quelque sorte un château d'eau. Pendant la crue, il y a stockage et donc un écrêtage de la crue ; pendant l'étiage, il y a des lâchers d'eau pour générer de l'électricité et parvenir aux besoins en eau potable et en eau d'irrigation. Nous avons quantifié cet écrêtage de la façon suivante :

33 $h(t) = h_1(t) - f^*s^*(o(t) - a)$ *Équation 2*

34 avec :

35 h(t) hauteur d'eau à l'instant *t* après aménagement

36 $h_1(t)$ hauteur d'eau à l'instant *t* sans aménagement

37 a altitude du fond du lit

38 f paramètre de contrôle

39 s paramètre de contrôle liée a un aménagement à l'amont

Aménagement en aval

40 Les courbes de remous[3] sous l'impact du barrage à l'aval provoquent une augmentation des hauteurs d'eau dans le delta. Ce phénomène a été étudié par HydroConsult (1996) pour le barrage de Tossaye en projet. Dans le modèle, nous tenons compte de l'impact du barrage aval sur les hauteurs d'eau en délimitant les objets hydrologiques qui seront touchés par la gestion du barrage pour les quatre scénarios. L'algorithme que nous avons établi pour corriger les hauteurs d'eau pendant l'étiage est le suivant :

41 $h(t) = \max(a + h(t) - a)^* f, a + i)$ *Équation 3*

42 *f* est un paramètre de contrôle qui fait monter la hauteur d'eau au temps t. La valeur de *f* varie au cours de l'année et n'est pas la même pour tous les objets. On distingue cinq groupes : les objets qui ne sont pas influencés, les objets qui subissent un impact à la cote 254 m, ceux qui sont touchés quand la cote de la retenue s'élève à 258,75 m, 259,75 et au-dessus de 260 m.

Hydrobiologie

Ressources halieutiques

43 Ce module représente la dynamique de génération et de diffusion des poissons dans le temps et dans l'espace. La reproduction du poisson a lieu dans les plaines inondables : lorsque le poisson s'y trouve, son abondance suit une évolution logistique dans laquelle la capacité de charge dépend de la surface inondée (Morand et Bousquet, 1994) :

$$A_i(t+1) = A_i(t) + rA_i(t)(1 - \frac{A_i(t)}{K_i(t)})$$

Équation 4

44 avec :

45 A_i abondance

46 K_i capacité de charge

47 R taux de croissance naturel

48 La diffusion de poissons s'effectue dans toutes les entités (segments, plaines, lacs) et suit une équation de mélange dépendant de la connectivité du système entre deux entités *i* et *j* :

$$A_i(t+1) = A_i(t) + \sum_j \beta_{ij} \frac{A_j(t)S_i(t) - A_i(t)S_j(t)}{S_i(t) + S_j(t)}$$

Équation 5

avec :

A_i abondance

B_{ij} connectivite ($B_{ij} = B_{ji}$)

S_i surface

Dans les segments, l'abondance du poisson ne croît pas, mais ne peut que diminuer du fait du prélèvement exercé par la pêche. Cependant, un paramètre *#Fertilité* représente le taux de croissance naturel de la population de poissons ; c'est le paramètre *r* de l'équation 4 ; il permet de simuler l'introduction des espèces plus ou moins prolifiques, *r* peut varier entre 0 et 2 et est fixé par défaut à 0,6. Un paramètre *#Diffusion* quantifie la vitesse de diffusion des populations de poissons ; il représente le nombre de fois que l'on appliquera une transformation homogénéisant les concentrations de poissons entre deux entités hydrologiques adjacentes ; ce paramètre est employé pour simuler des situations où des aménagements hydroagricoles (micro-coupures) transforment la connectivité du système.

Systèmes de production

Les systèmes de production sont représentés par un modèle de type « *marché de l'emploi* » en distinguant les activités halieutiques et agricoles représentées par un modèle *pulling* et les activités pastorales représentées par un modèle *pushing.*

Les activités halieutiques et agricoles : un modèle « pulling »

Les populations du delta sont représentées par des groupes de pêcheurs, d'agriculteurs, d'agro-pêcheurs. Ces groupes se déplacent vers des zones exploitables lorsque les ressources de ces zones sont suffisantes. Ces déplacements se font d'une zone à une autre en fonction de liens sociaux traditionnels et en fonction de l'inondation dans la zone (figure VII a, hors texte). Ce mécanisme souligne l'importance de la *mobilité* des groupes d'exploitants dans le delta. Profitant de la diversité morphologique et la variabilité temporelle, les exploitants se déplacent pour mieux exploiter des ressources naturelles sur des espaces déformables du delta.

Un groupe d'exploitants peut avoir de liens avec de nombreuses zones exploitables. Par exemple, les pêcheurs de la partie sud du delta (Diaka, Mopti) quittent en étiage leurs zones d'habitat et se déplacent vers le complexe lacustre Débo/Walado. Cette mobilité s'applique également aux agriculteurs. Les agriculteurs des zones céréalières déficitaires (région de Tombouctou), par exemple, se déplacent pendant la saison de culture vers les grandes plaines en amont du complexe lacustre Débo/Walado pour y cultiver du riz (Kuper et Maïga, 2000).

Mécanismes de la production halieutique

Dans le module « pêche » les acteurs sont des groupes de pêcheurs ou d'agro-pêcheurs, et la ressource est le poisson. Les besoins en main-d'œuvre dans les zones de pêche dépendent de la saison de pêche en cours[4] et de la capacité de pêche de la zone, qui correspond en fait au nombre maximal de pêcheurs pouvant être supporté dans la zone considérée. La répartition des pêcheurs dans les zones de pêche s'ajuste donc aux besoins – ou aux surplus – de main-d'œuvre. En cas de besoin, il s'agit de faire venir de la main-

d'œuvre ; en cas de surplus, la main-d'œuvre qui n'est pas dans sa zone de pêche repart. En cas de renvoi de groupes de pêcheurs, le choix se porte sur les groupes les plus proches de la zone de pêche et en fonction du degré de sédentarisation de ces groupes.

58 Pour chaque zone de pêche, l'activité de pêche aboutit à des captures. Les captures sont fonction de la capturabilité *q*, selon la formule suivante (Laurec et Le Guen, 1981) :

59 $Y(t) = qA_i(t)E$ *Équation 6*

60 avec :

61 A_i abondance

62 E effort de pêche

63 Q capturabilité

64 Y(t) captures

65 L'effort de pêche est exprimé en nombre de sorties de pêche. Les captures sont ensuite multipliées par le prix de poisson pour obtenir les revenus des pêcheurs. La capacité maximale d'accueil des pêcheurs pour chacune des zones de pêche et pour chaque saison hydrologique, de même que les effectifs et droits d'accès de chacun des groupes de pêcheurs ou d'agro-pêcheurs, sont établis d'après les résultats d'enquête du programme de recherche « Pêche dans le delta central du Niger » (Quensière, 1994).

66 Le coefficient de capturabilité représente la proportion de la biomasse présente qui va être capturée par chaque unité d'effort. Ce coefficient peut varier en fonction des milieux et des saisons : il est plus fort en étiage, quand les poissons sont plus accessibles pour les pêcheurs. Ce coefficient peut varier entre 40 et 400 kg par sortie avec une valeur de 40 par défaut. Une augmentation de la capturabilité peut signifier une modernisation dans les moyens de pêche (motorisations des pirogues, filets plus solides...).

67 Le prix de poisson est un paramètre de contrôle que l'on peut faire varier entre 100 et 1 000 F CFA par kg, la valeur de défaut étant fixée à 500 F CFA par kg.

Mécanismes de la production agricole

68 Les acteurs du module d'agriculture sont les agriculteurs et les agro-pêcheurs ; la ressource est la superficie de terre agricole inondée et sa fertilité. Les agro-pêcheurs sont à la fois liés à des zones de pêche et des zones d'agriculture. Leur choix d'activité dépend de l'abondance des poissons et des opportunités de culture dans leurs zones d'intervention. En raison de leur tradition de pêche, les agro-pêcheurs marquent une préférence pour l'activité de pêche. Dans le modèle, sont uniquement pris en compte les cultures de riz traditionnel (riz à submersion libre, riz de décrue), qui dépendent de la qualité de la crue (Viguier, 1937 ; Kuper et Maïga, 2000). Les agriculteurs se déplacent d'une zone agricole à une autre en fonction de la disponibilité en semences, de la surface inondée et des liens traditionnels avec les zones de production.

Calcul des besoins en main-d'œuvre dans les zones agricoles

69 Pour chaque zone agricole et à chaque quinzaine, les besoins en main-d'œuvre sont calculés en fonction de la saison agricole : (1) labour et semis, (2) entretien (désherbage, traitement), (3) récolte et battage. Le calendrier des activités et la charge de travail sont basés sur les travaux de Gallais (1984).

70 La surface de riz semée dans une zone dépend de la surface agricole de cette zone, de la quantité de main-d'œuvre disponible, et de la disponibilité en semences. Elle ne dépend pas de la crue, car le semis se fait largement avant l'arrivée de la crue. La surface de riz entretenue pendant la saison de culture dépend de la surface semée, de la surface inondée et donc de la qualité de la crue, de la morphologie des plaines et de la disponibilité de main-d'œuvre.

71 La récolte est fonction de la surface de riz entretenue, et donc des conditions de culture dans les étapes précédentes (importance de la crue, disponibilité de main-d'œuvre), et de la main-d'œuvre disponible pour la récolte et le battage. Elle dépend également du rendement soumis à nombre de contraintes tout le long de la saison de culture et qui est contrôlé par un indice de productivité.

Calcul de la disponibilité de la main-d'œuvre des groupes d'agriculteurs et d'agro-pêcheurs

72 A chaque pas de temps, les besoins en main-d'œuvre sont recalculés. La répartition de la main-d'œuvre de groupes d'agriculteurs est effectuée selon le même schéma que celui des groupes de pêcheurs. Les groupes d'agriculteurs se déplacent, selon les besoins de main-d'œuvre des zones et selon leur disponibilité. Cette disponibilité dépend des autres opportunités (pêche, agriculture dans une autre zone) et de l'indice de sédentarisation, qui par défaut égale 0 % – *i.e.* pas de contrainte pour la mobilité des producteurs –, mais qui peut varier entre 0 et 100 %. Pendant la saison des récoltes, on calcule la quantité de riz récoltée par zone, par personne et par groupes d'agriculteurs, ce qui permet de calculer les revenus agricoles du groupe.

73 La superficie cultivable de chaque zone agricole a été calculée d'après les données de 1999 du ministère du Développement rural et de l'Eau. L'effectif et les zones agricoles dans lesquelles il est usuel ou possible que chaque groupe de producteurs aille travailler, sont établis d'après Quensière (1994).

74 La fertilité est indiquée par l'indice de productivité qui varie entre 200 et 2 000 kg ha La valeur par défaut est 900 kg ha^{-1}. L'indice de la disponibilité en semences peut varier entre 0 et 100 %, et est par défaut fixé à 100 %. Le prix du riz paddy peut varier entre 50 et 200 F CFA le kg, la valeur par défaut étant de 100 F CFA le kg.

Les activités pastorales : un modèle « pushing »

75 Les troupeaux de bovins se déplacent suivant des pistes (*burti*) et sont reçus dans des zones de pâturage selon des droits fonciers traditionnels (les *leyde, cf.* Gallais, 1984 ; Marie, 1983). Les troupeaux se déplacent d'une zone vers une autre selon la saison et quand le nombre de bovins dépasse leur capacité d'accueil, « les zones chassent les groupes ». Cette notion de capacité d'accueil des zones gouverne donc les déplacements des troupeaux.

Mécanismes de l'activité d'élevage

76 Dans ce module, la ressource est le pâturage et les acteurs sont les troupeaux de bœufs (élevage bovin exclusivement). Les troupeaux entrent dans le delta pendant la première décrue (de novembre à décembre) ; puis pendant les périodes de montée des eaux (de juillet à août), ils se retirent vers les zones extérieures au delta. Le déplacement des troupeaux à l'intérieur du delta se fait en fonction de la capacité de charge, mais dépend

aussi du type de troupeaux ; on distingue les troupeaux « propriétaires » et « étrangers » (Marie, 1983 ; Gallais, 1984). En cas d'insuffisance en pâturage, les troupeaux propriétaires partent les premiers vers une nouvelle zone de pâturage. Les troupeaux étrangers suivent.

77 La capacité de charge est le nombre maximal de têtes de bétail qu'une zone peut accueillir et est calculée à chaque pas de temps pour chaque zone. Le pâturage se développe à la fois sur les surfaces exondées et inondées. La végétation de la surface inondée est constituée de trois types (Hiernaux *et al.*, 1983 ; Breman et de Ridder, 1991) : les vétiveraies, les oryzaies et les bourgoutières (*Echinochloa stagnina, Vossia cuspidata*). La disponibilité de ces pâtures dépend du maximum de la crue de l'année (fig. 2).

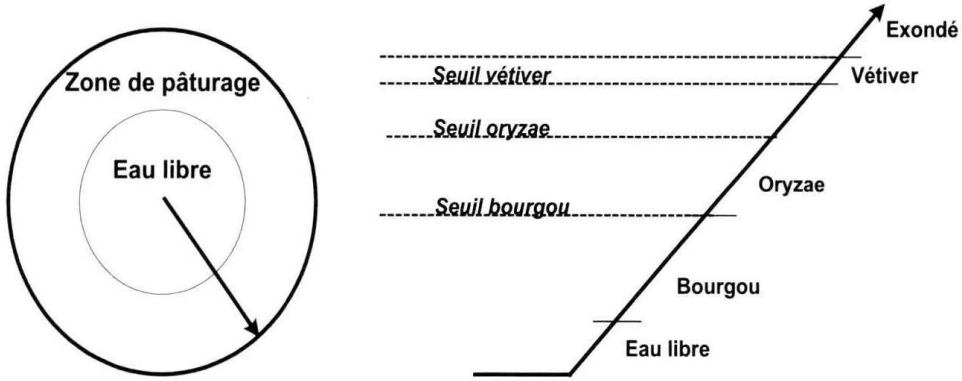


Figure 2. Seuils de pâtures dans un milieu hydrologique en fonction de la hauteur d'eau.

78 La production des différents types de pâtures dépend du franchissement de la hauteur d'eau maximale des seuils de végétation. Les valeurs des différents seuils sont les suivantes : 3 m pour le bourgou, 1,5 m pour le riz et 0,6 m pour le vétiver (Wuillot, 1994). Si, par exemple, la hauteur d'eau maximale dépasse le seuil « oryzae », la production de bourgou et d'oryzae est assurée, tandis que la surface de vétiver se transforme en végétation de type exondé. Les interventions de l'homme dans la végétation naturelle (repiquage de bourgou, remplacement des bourgoutières par rizières) sont représentées par un indice « bourgoutières ». La capacité d'accueil est différente suivant le type de végétation (Breman et de Ridder, 1991). Les espèces végétales des bourgoutières, par exemple, ont une capacité d'accueil presque cinq fois supérieures à la végétation de l'espace exondé.

79 La répartition du troupeau consiste à déplacer les troupeaux vers les zones d'accueil, en fonction de l'avancement des saisons, lorsque la qualité d'accueil de la zone se dégrade (moins de pâturage) ou lorsqu'il y a changement de saison. Les troupeaux sont déplacés d'une zone à une autre lorsque la capacité de charge de bétail calculée est inférieure à l'effectif des troupeaux présents. Pour chaque troupeau présent dans une zone, on choisit comme zone destination la zone parmi les zones d'accueil de la saison ayant la capacité de charge en bétail la plus grande.

80 L'étape de démographie consiste en une mise à jour des effectifs de troupeaux dans les zones d'élevage et dans les troupeaux en fonction du taux de croissance, et une mise à jour du coefficient de l'état sanitaire des troupeaux. Si la capacité d'accueil est supérieure au nombre de têtes présentes dans une zone, l'état sanitaire des troupeaux diminue de 30 %. Dans le cas inverse, l'abondance du pâturage assure une augmentation de l'état

sanitaire de 40 %. A cette étape, une proportion de bétail (1 %) est vendue lorsque l'état sanitaire se dégrade (coefficient < 0,4).

Données sur l'élevage

81 Il y a 60 zones d'élevage à l'intérieur du delta. Pour chaque zone d'élevage, les proportions de type de végétation sont connues (Hiernaux *et al.*, 1983 ; Marie, 1983). Il y a 14 troupeaux dont la taille a été établie d'après le recensement du ministère du Développement rural et de l'Eau en 1992. L'indice *bourgoutière* fait varier la surface relative du bourgou par rapport aux autres types de végétation ; sa valeur varie entre 0,2 et 0,4 (valeur par défaut de 0,2). L'indice *état sanitaire* est par défaut égale 1, une proportion du troupeau est vendue lorsque l'état sanitaire se dégrade (< 0,4). Enfin, l'indice *tendance à la vente* représente la proportion du troupeau vendue lorsque l'état sanitaire se dégrade.

Paramètres de comportement

82 Le paramètre « *comportement migratoire* » permet de simuler des restrictions aux migrations des différents groupes ; il représente la distance maximale qui peut exister entre l'endroit de rattachement d'un groupe et les zones où il peut aller travailler. Le paramètre « *comportement capitalistique* » sert à distinguer une situation dans laquelle la relation entre propension à travailler des groupes et le capital qu'ils ont accumulé, est négative (économie de subsistance) et une situation où elle serait positive (économie d'investissement).

Expériences de simulation

Impact d'un barrage à l'amont du delta

Développement des scénarios et hypothèses

83 Le barrage de Sélingué, mis en service en 1981, sur le Sankarani au Mali est actuellement le seul ouvrage capable de participer à la régulation des eaux. Avec une capacité de stockage de 2,17 milliards de m^3, il soutient les étiages au-dessus de 100 $m^3\ s^{-1}$ à Koulikoro (Hassane *et al.*, 2000). Des barrages supplémentaires sur le haut bassin du fleuve Niger sont en projet.

84 En tenant compte de l'évaporation sur la retenue et en maintenant les prélèvements actuels des périmètres irrigués (Sélingué, Baguinéda, Office du Niger...), qui s'élèvent à 3 milliards de m^3 (Hassane *et al.*, 2000), nous avons fait l'hypothèse que ces projets se traduiront par un stockage entre juillet et décembre pendant la période de crue et donc un écrêtage de la crue, et un soutien de l'étiage de janvier à juin. L'impact de ces projets sur les hauteurs d'eau a été déterminé à partir de relations établies par régression multiple (Auvray, 1960 ; Brunet-Moret, 1986 ; Hassane *et al.*, 2000 ; Marieu *et al.*, 1998 ; Soumaguel, 1995).

85 Le tableau 1 spécifie les capacités de stockage retenues pour la réalisation des simulations. La valeur de l'indice de l'écrêtage est de 0,1 pour une capacité de stockage de 5 milliards de m^3, 0,3 pour une capacité de stockage de 10 milliards de m^3, et 0,4 pour une capacité de stockage de 15 milliards de m^3, ce qui correspond respectivement à des

variations de hauteur d'eau de 0,35 à 0,5 m pour une capacité de stockage de 5 milliards de m^3, de 0,65 à 1,25 m pour une capacité de stockage de 10 milliards de m^3, et de 0,8 à 2 m pour une capacité de stockage de 15 milliards de m^3. Dans tous les cas, l'importance de la crue diminue. Les valeurs sont différentes pour le lac Débo, qui est un lac central toujours en eau, et le complexe Télé-Faguibine, qui est relativement éloigné du fleuve Niger. En effet, l'impact n'est pas identique pour chaque objet hydrologique : il dépend de sa localisation et de sa géométrie. Ainsi, nous avons divisé le delta en quatre parties :

- la zone Bani : pas d'impact ;
- la zone du Diaka et du Niger allant de Ké-Macina au lac Débo ;
- la zone de l'Issa Ber après le lac Débo ;
- la zone du Bara Issa allant de Awoye à Dire.

Tableau 1. Capacité du réservoir du barrage à l'amont du delta, définition du scénario 1.

Aménagements	Capacité de stockage milliards de m^3
sans Sélingué	0
Sélingué actuel	2,17
Sélingué rehaussé	5
Sélingué actuel + barrage à l'amont de Bamako sur le Niger	10
Sélingué rehaussé + barrage à l'amont de Bamako sur le Niger	15

Résultats

86 Le fonctionnement hydrologique antérieur à la construction du barrage de Sélingué a été simulé et comparé avec la situation actuelle (avec barrage, figure VII b, hors texte). On peut ainsi visualiser l'impact d'un aménagement sur les écoulements, mais également sur les systèmes de production. La colonne de gauche (troisième courbe) montre l'écrêtage de la crue ainsi qu'un soutien en étiage attribuable à la régulation du barrage de Sélingué (Hassane *et al.*, 2000). Dans la situation « avant Sélingué », la crue est plus précoce avec un impact direct sur la reproduction des poissons et les captures. Les revenus des pêcheurs et des agro-pêcheurs sont alors légèrement décalés dans le temps (colonne de gauche, première courbe et colonne de droite, quatrième courbe). L'agriculture semble moins concernée que la pêche : à cause d'une diminution de la surface inondée, la surface cultivée est légèrement supérieure dans la situation avant Sélingué avec des répercussions sur les revenus (colonne de droite, cinquième courbe).

87 Les résultats d'une simulation Midin avec un barrage de 10 milliards de m^3 (en plus de Sélingué) montre l'écrêtage de la crue ainsi qu'un soutien en étiage attribuable à la régulation du barrage. Cette écrêtage réduit considérablement la surface inondée des plaines et des chenaux, comme le montre l'exemple la rivière de Koli Koli. L'agriculture est directement affectée avec une diminution de la surface cultivée, une diminution du nombre de familles travaillant dans l'agriculture et une baisse de revenus. En revanche, une atténuation de la crue et le soutien de l'étiage augmentent la disponibilité de poissons durant l'année et on voit une hausse de revenus des pêcheurs.

Impact d'un barrage à l'aval du delta

Développement des scénarios et hypothèses

88 Le barrage de Tossaye est actuellement en projet conçu pour la génération d'électricité, la promotion de la navigation et la mise en valeur des zones du Lac Faguibine, de la dépression du Gourma et de la vallée fossile du Tilemsi (Coyne et Bellier, 1997). Nous analysons ici uniquement son impact sur le delta intérieur du Niger en amont de Koryoumé, le port de Tombouctou. Contrairement à l'aménagement à l'amont du delta, la capacité de stockage du barrage à l'aval n'est pas un paramètre pertinent. La hauteur d'eau de la retenue influe sur les courbes de remous, qui ont pour effet d'augmenter les hauteurs d'eau dans le delta.

89 Nous avons retenu les quatre hypothèses suivantes pour la hauteur d'eau du réservoir (dite cote de « restitution ») : 254 m, 258,75 m, 259,75 m, 260 m (plus hautes-eaux). La cote 254 m est la cote minimale de la retenue – et il est d'ailleurs prévu dans la gestion du barrage de Tossaye de rabattre le niveau de la retenue à ce niveau pendant la contre-saison sèche pour des raisons environnementales (Coyne et Bellier, 1997). Les cotes 258,75 m et 259,75 m sont des niveaux d'exploitation qui sont proposés et en discussion. La cote de 260 m n'est atteinte qu'en situation exceptionnelle (cote des plus hautes-eaux). Nous avons alors déterminé l'évolution du plan d'eau de la retenue en fonction de l'évaporation et de la pluie, des entrées et des lâchers. L'évaporation et la précipitation ont été obtenues de Coyne et Bellier (1997) et HydroConsult (1996). Les écoulements naturels à Tossaye, constituant les entrées, sont présentés dans le tableau 2. Le débit qui doit être restitué à l'aval est de 75 $m^3 s^{-1}$. Ce débit permet d'éviter le tarissement total du fleuve à l'aval de Tossaye (Coyne et Bellier, 1997).

Tableau 2. Écoulements mensuels (en $m^3 s^{-1}$) du fleuve Niger à Tossaye.

Années	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1924-1996	1 349	900	447	162	66,1	1 685	122	492	1 105	1 503	1 717	1 805
1970-1995	591	238	78,8	32,8	22	1 081	78,2	403	992	1 405	1 582	1 503
1993/94	273	102	60	40	40	696	102	322	896	1 260	1 360	1 170
1994/95	1 510	723	236	123	97,3	1 930	278	697	1 240	1 580	1 770	1 930

Source : HydroConsult (1996) ; Coyne et Bellier (1997).

90 Les calculs d'HydroConsult (1996) montrent que l'impact du barrage n'est guère perceptible en période de crue, quand les hauteurs d'eau sont importantes et les courbes de remous coïncident presque avec la pente naturelle de l'eau. L'impact est, en revanche, considérable si une cote élevée est maintenue pendant l'étiage, ce qui est d'ailleurs déconseillé dans le rapport de factibilité du barrage (Coyne et Bellier, 1997). La période de crue à Tossaye est décalée par rapport à l'entrée du delta et elle est plus longue (fig. 3). Nous fixons donc la période de crue entre août et février inclus et l'étiage entre mars et juillet inclus.

91 Nous faisons l'hypothèse d'une cote maximale de la retenue à la fin de la période de crue, le premier mars, pour calculer l'évolution du plan d'eau pendant l'étiage. Nous avons pris

comme exemple l'année 1993/94, qui représente une année hydrologique déficitaire (fig. 4). Le niveau le plus bas est atteint en août, mais cette date varie d'une année à l'autre en fonction de l'hydraulicité : une reprise précoce de la crue, par exemple, a pour conséquence d'avancer la date du niveau minimal de la retenue.

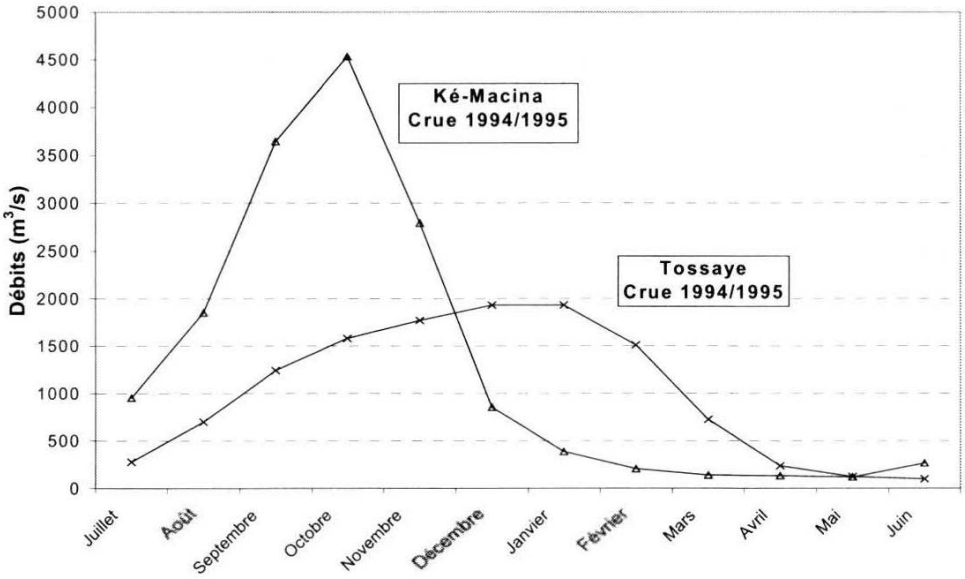


Figure 3. Les écoulements mensuels des fleuves Niger à Ké-Macina et à Tossaye, crue de 1994/95.

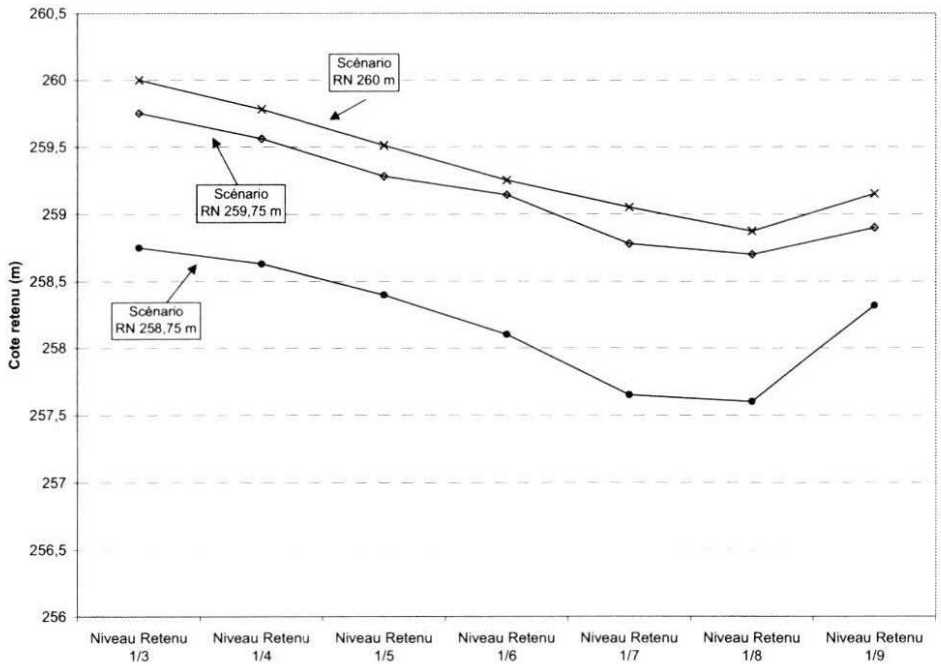


Figure 4. Simulation de l'évolution de la cote de retenue du barrage de Tossaye pendant l'étiage de 1994.

92 L'effet de la cote de retenue du barrage sur les hauteurs d'eau dans le delta peut être déterminé en utilisant les courbes de remous de HydroConsult (1996). Pour une cote de 254 m en étiage, il n'y a pas d'impact sur les hauteurs d'eau du delta. Une cote de 258,75 n'a guère d'impact non plus : la courbe de remous rejoint le régime naturel à l'amont de Koryoumé. En revanche, une cote de 259,75 m de la retenue aura un impact jusqu'à Diré,

400 km à l'amont du barrage, et donc sur la partie septentrionale du delta, le complexe Télé-Faguibine inclus. Une cote au-dessus de 260 m influence les hauteurs d'eau d'une façon significative à l'amont de la ville de Diré.

Résultats

93 Sur la base de l'analyse ci-dessus, nous avons intégré l'option d'un aménagement aval dans le module hydrologique avec l'option pour l'utilisateur de faire varier la cote de la retenue du barrage à l'amont du delta et de faire une comparaison avec la situation actuelle. Les résultats d'une simulation avec une cote de retenue de 260 m, en comparaison avec la situation actuelle sont présentés pour la plaine de Goyroum, situé dans le prolongement du Bara Issa en face de Diré, sur la figure VIII-a (hors texte).

94 L'impact de l'aménagement sur les hauteurs d'eau (colonne à gauche, première courbe) et, par conséquent, sur la surface inondée (colonne à gauche, deuxième courbe) en étiage est important. La durée des inondations est prolongée, modifiant l'écosystème de la partie aval du delta. En année humide (1994/95), il y a un impact négatif sur l'agriculture (colonne à droite, deuxième et quatrième courbe), car il y a simplement trop d'eau. En revanche, en année sèche, l'effet est plutôt positif. En ce qui concerne la pêche (colonne à droite, première et troisième courbe), on remarque un nivellement des captures le long de l'année avec un impact sur les revenus plutôt positif en année sèche (1993/94).

Impact de la capturabilité

95 Une étude plus détaillée de l'impact des paramètres de contrôle sur les systèmes de production est possible par une analyse de sensibilité, en faisant varier la valeur d'un des paramètres de contrôle. Les résultats d'une analyse de sensibilité avec l'indice de capturabilité, variant entre 40 et 400 kg par sortie de pêche, sont présentés sur la figure VIII-b (hors texte). Cet indice augmente, par exemple, par une amélioration des engins de pêche.

96 L'impact d'une variation de la capturabilité sur les captures et donc sur les revenus (courbe en haut à droite) est très net, surtout en année sèche quand les captures sont plus faciles en raison d'une moindre dilution. En prenant des valeurs assez extrêmes, on montre un effet plateau des revenus de pêche : l'abondance de la ressource poisson devient un facteur limitant pour les captures. *A contrario,* l'impact sur l'activité de pêche est néant du fait que cet indice n'intervient pas dans la disponibilité et la répartition des pêcheurs dans le delta. A court terme, les pêcheurs continuent à pêcher même si leur rendement diminue.

Conclusion

97 La notion d'espace géographique dans la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger a été utilisée comme une interface pour comprendre, saisir et représenter la dynamique des processus de la production naturelle des ressources et les processus de leur exploitation. La géographie de la région naturelle est un bon moyen de restituer la complexité de l'écosystème, de comprendre la signification de chaque élément dans l'ensemble et de dialoguer avec les différents acteurs.

98 La *plausibilité* du modèle en termes de représentation spatiotemporelle des processus physiques et de comportement des acteurs du delta a été testée par des représentants des services techniques, des ministères, des universités et des ONG, pendant une « école d'hiver » (de Noray, 2000), et de façon plus informelle tout le long du développement du modèle. Les critiques émises par ces différentes personnes ont concerné l'interface du modèle, la sensibilité des paramètres et le degré de complexité des mécanismes du modèle, mais jamais la validité de la représentation spatiale (choix des objets et de leurs attributs), le choix des processus, des mécanismes, et du pas de temps (quinzaine).

99 Les *analyses de sensibilité* permettent d'isoler l'impact des différents paramètres de contrôle sur les productions de pêche, d'élevage et d'agriculture et d'identifier les paramètres déterminants. L'identification de ces paramètres permet de réorienter la recherche thématique (investigation des facteurs limitants de la production) et offre la possibilité de cibler les actions de développement (enlever les contraintes de production). Une prochaine étape consistera à formaliser les relations d'interdépendance entre les différents mécanismes. La formalisation et la modélisation des interactions entre les différents mécanismes constituent un champ de recherche intéressant dans l'étude des systèmes complexes. En termes de modélisation, cette orientation entraîne des risques de multiplication d'erreurs et de robustesse des mécanismes.

Remerciements

100 Nous tenons à remercier les participants de l'école d'hiver, qui s'est tenue à Bamako en février 2000, pour leurs remarques critiques et constructives sur le modèle du delta intérieur du Niger.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Auvray C, 1960 – *Monographie du Niger, B : la cuvette lacustre.* Paris, Orstom, 116 p.

Baumann E., Fay C, Kassibo B., 1994 – « Systèmes de production et d'activité : trois études régionales ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 255-265.

Blöschl G., Sivapalan M., 1995 – Scale issues in hydrological modeling : a review. *J. Hydrological Processes,* 9 (3-4) : 157-166.

Boyer J.-F., Cochonneau G., Dieulin-Picart C. 1994 – *HYDROM 3.1, gestion et traitement de données hydrométriques.* Doc. Orstom, Laboratoire d'hydrologie, Montpellier, France : 75 p.

Breman H., Ridder N. (de), 1991 – *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens.* ACCT/CABO-DLO/CTA, Wageningen, Pays-Bas ; Paris, Karthala, 485 p.

Breuil C, Quensière J., 1995 – *Éléments d'une politique de développement durable des pêches et de la pisciculture au Mali.* Doc. FAO, ONU, Rome.

Brunet-Moret Y., Chaperon P., Lamagat J.-P., Molinier M., 1986 – *Cuvette lacustre et Niger moyen.* Paris, Orstom, coll. Monographies hydrologiques, 8, tome 2, 506 p.

Coyne et Bellier, 1997 – *Rapport de factibilité du scénario de développement de la boucle du Niger.* Paris, Coyne et Bellier, 3 volumes : 1200 p.

Gallais J., 1984 – *Hommes du Sahel, espaces-temps et pouvoirs, le delta intérieur du Niger, 1960-1980.* Paris, Flammarion, 289 p.

Hassane A., Kuper M., Orange D., 2000 – Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'onde de la crue du delta intérieur du Niger au Mali. *Sud Sciences et Technologies,* 5 : 16-31.

Hiernaux P., Cissé M. I., Diarra L, Coulibaly M., 1983 – *Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali ; volume 1 : les pâturages de la zone d'étude.* Cipéa-Odem, Bamako, Mali, 132 p.

HydroConsult, 1996 – *Étude de factibilité et d'impact du barrage de Tossaye.* Doc. GIE Orstom-EDF, Paris, deux volumes.

Jaccon G., 1986 – *Manuel d'hydrométrie, tome* 5 : *tracé de la courbe de tarage et calcul des débits.* Doc. Orstom, Paris : 80 p.

Kuper M., Orange D., Mullon C., Poncet Y., Morand P., 1999 – « Modélisation intégrée d'un écosystème inondé et gestion des eaux : le cas du delta Intérieur du Niger au Mali ». *In : Ressources en eau de l'Afrique occidentale et centrale,* actes du colloque Friend-AOC, Yaoundé, 30 nov.- 2 déc.1999), Unesco-PHI : 00-00.

Kuper M., Maïga H., 2000 – *Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger au Mali.* Etudes et rapports Gihrex, ER52, IRD, Bamako, Mali, 39 p.

Laë R., 1994 – « Modifications des apports en eau et impact sur les captures de poisson ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 255-265.

Laurec A., Le Guen J.-C, 1981 – *Dynamique des populations marines exploitées.* Rapp. scientifiques et techniques, Centre océanologique de Bretagne, Brest, France, n° 45.

Marie J., 1983 – *Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali, rapport de synthèse.* Doc. Cipéa, Addis-Abeba, Ethiopie, vol. 5.

Marieu B., Bamba F., Bricquet J.-P., Cissé N., Gréard M., Henry des Tureaux T., Mahé G., Mahieux A., Olivry J.-C, Orange D., Picouet C, Sidibé M., Touré M., 1998 – *Actualisation des données hydrométriques du fleuve Niger au Mali pour Equanis.* Etudes et rapports Gihrex, ER32, IRD, Bamako, Mali, 81 p.

Morand P., Bousquet F., 1994 – « Modélisation de la ressource. Relations entre l'effort de pêche, la dynamique du peuplement ichtyologique et le niveau des captures dans un système fleuve-plaine ». *In* Quensière J. (éd.) : 267-281.

Noray M.-L. (de), 2000 – *Rapport d'expertise pour Gihrex-IRD : session d'échange et de formation autour de la maquette MIDIN.* Etudes et rapports Gihrex, ER57, IRD, Bamako, Mali, 36 p.

Olivry J.-C, 1995 – « Fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta intérieur ». *In* Olivry J.-C, Boulègue J. (éd.) : *Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo, Niger, Amazone,* Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires : 267-280.

Poncet Y., Kuper M., Mullon C, Morand P., Orange D., 2001 – « Représenter l'espace pour structurer le temps : la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Lardon S., Maurel P., Piveteau V. (éd.) : *Représentations spatiales et développement territorial,* Paris, Hermes, chapitre 7 : 143-162 et planches IV-V.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées : l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

Quensière J. (éd.), 1994 – *La pêche dans le delta central du Niger.* Paris, IER-Orstom-Karthala, 2 volumes, 495 p.

Soumaguel A., 1995 – *Influence du barrage de Sélingué sur le régime hydrologique du Niger.* Mémoire de fin d'études, Centre Agrhymet, Niamey, Niger.

Viguier P., 1937 – *Riziculture indigène au Soudan français.* AOF, Paris, 3 tomes.

Wuillot J., 1994 – « Les phytocénoses aquatiques ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 85-95.

NOTES

1. http://www.orleans.ird.fr/midin.html
2. 200 000 ménages participent souvent à plusieurs activités professionnelles (pêche, agriculture, élevage). Leurs décisions concernent l'engagement dans ces activités professionnelles, la durée de l'activité, le choix des lieux (parcelles, sites de pêche, trajet dans l'espace et dans le temps pour l'élevage) et l'utilisation de leur effectif.
3. La courbe de remous est un phénomène de relèvement de la ligne d'eau superficielle en raison d'un ralentissement de l'écoulement à l'amont d'un rétrécissement ou d'un seuil dans le lit d'une rivière (Jaccon, 1986).
4. L'année hydrologique est découpée en six périodes : basses eaux saison sèche, basses eaux saison des pluies, montée des eaux, hautes eaux, décrue, décrue fin de saison.

AUTEURS

MARCEL KUPER

Hydraulicien. Cirad-Tera, TA 60/15, 73 rue Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France, kuper@cirad.fr

CHRISTIAN MULLON

Modélisateur. IRD, University of Cape Town, dep. of Oceanography, 7701 Rondebosh, South-Africa, cmullon@phvsci.uct.ac.za

YVELINE PONCET

Géographe. IRD, centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 02, France, Yveline.Poncet@orleans.ird.fr

ELISABETH BENGA

Informaticienne. École Supérieure Polytechnique (ESP), Ucad, Dakar, Sénégal, benga@esp.simes.sn

PIERRE MORAND

Halieute. IRD, SIH-Ifremer, Av. Jean Monnet, 34200 Sète, France, morand@ird.fr

DIDIER ORANGE

Hydrochimiste. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France, orange@ird.fr

GIL MAHÉ

Hydrologue. IRD, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina-Faso, mahe@hydro.ird.bf

ROBERT ARFI

Hydrobiologiste. IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal, arfi@ird.fr

FANTAGOMA BAMBA

Hydrologue. École Nationale d'Ingénieur, Bamako, Mali, bambaf@afribone.net.ml

Le jeu de rôles à l'interface entre systèmes réel et virtuel pour la gestion de ressources renouvelables

Exemples d'application au Sénégal

Olivier Barreteau, Patrick d'Aquino, François Bousquet et Christophe Le Page

1 L'utilisation de systèmes multi-agents (SMA) pour représenter des systèmes réels impliquant des ressources renouvelables est de plus en plus fréquente (Bousquet *et al.*, 1999) et reconnue dans la communauté scientifique travaillant sur les simulations en sciences sociales *via* des publications dans la revue en ligne JASSS[1] ainsi que dans des conférences et séminaires tels que SMAGET[2] (Ferrand, 1999) et MABS[3] (Sichman *et al.*, 1998 ; Moss et Davidsson, 2001). Ces modes de représentation permettent de constituer des sociétés virtuelles en interaction avec un environnement. De nombreux travaux de recherche utilisent ainsi des écosystèmes artificiels pour aider à la compréhension des systèmes réels. Ce recours à des mondes virtuels présente l'avantage de substituer un « *learning by simulating* » au « *learning by doing* », lourd et perturbant pour les sociétés étudiées, qui a longtemps prévalu faute d'autres moyens. Au Cirad, en particulier, des recherches sont développées sur la modélisation de l'interaction entre des dynamiques socio-économiques et des dynamiques de ressources naturelles et renouvelables, afin d'identifier leurs domaines de co-viabilité au sein d'écosystèmes. Un outil de modélisation a été élaboré (Cormas, *Common-pool resources and multi-agent Systems* – Bousquet *et al.*, 1998) et de nombreuses applications développées. L'usage de ces modèles pour l'aide à la recherche interdisciplinaire se révèle efficace (d'Aquino *et al.*, 2000). Après avoir présenté les questions que pose cet usage de systèmes virtuels pour travailler sur des systèmes réels, nous proposons et justifions le recours à des jeux de rôles en complément de ceux-ci. Nous détaillons cela à travers deux expériences réalisées dans la vallée et le delta du fleuve Sénégal.

Distance entre monde réel et monde virtuel

2 Le développement des systèmes multi-agents et des mondes virtuels comme modes de représentation de mondes réels s'est fait dans la suite des travaux en intelligence artificielle distribuée (Ferber, 1995) grâce au développement de puissances de calcul de plus en plus importantes. Les systèmes multi-agents rassemblent des entités informatiques autonomes en interaction dans un environnement. Ils permettent notamment de simuler des dynamiques d'usages de ressources et d'interactions entre acteurs à propos de l'usage de ces ressources. Ils restent d'une bien moindre complexité que les systèmes réels qu'ils cherchent à représenter. En effet, la modélisation mène à des simplifications, en particulier en termes de taille, nombre d'agents, nombre de types de ressources, nombre de règles. De plus, la nature informatique du support des mondes virtuels constitue a priori une source de distance, par l'aspect « boîte noire » qu'il peut véhiculer.

Peut-on parler du réel à partir du virtuel ?

3 Quelle que soit la finalité de l'usage d'un système multi-agents pour représenter un monde réel – recherche, formation ou aide à la négociation la distance entre monde réel et monde virtuel peut mettre en défaut la pertinence de la démarche :

- le chercheur doit pouvoir faire le lien entre ce qu'il observe *via* des simulations et le monde réel. Il se pose des questions de validation. Comment être certain de ne pas élaborer des théories « autistes » ?
- les étudiants utilisant ces modèles réduits d'un nouveau genre devront également être capables de faire le lien avec les systèmes auxquels ils seront confrontés dans leur activité professionnelle. Ils devront établir des connexions entre leur vécu des systèmes réels et ce qu'ils auront appris ou compris grâce aux systèmes virtuels.
- pour des perspectives d'aide à la négociation ou de gestion concertée d'une ressource, les acteurs concernés doivent accepter l'outil comme représentatif du monde réel, dans lequel se situe l'enjeu de la négociation et la ressource sur laquelle elle porte. Il s'agit là d'une question de *légitimité* de l'outil du point de vue des parties prenantes à une négociation : fidélité vis à vis du monde réel et aptitude à en parler en particulier (Barreteau *et al.*, 2000).

Construction de la légitimité des outils

4 On est ramené dans tous les cas à une question de validation et surtout de légitimation du monde virtuel en tant que représentation du monde réel, légitimation pour les destinataires de ces outils. Si des méthodes usuelles de validation peuvent être satisfaisantes pour des usages en recherche dont les destinataires sont des scientifiques (pour lesquels ces méthodes sont le mode usuel de légitimation d'un modèle), elles ne peuvent suffire pour les autres usages et destinataires, car ceux-ci ont besoin d'autres sources de légitimation. L'aspect boîte noire du modèle est alors à prendre en considération, dans la mesure où il laisse place à des comportements d'incompréhension du contenu modèle, que celle-ci soit de bonne ou de mauvaise foi.

5 On se limite dans la suite de l'exposé au cas de l'usage des modèles en gestion concertée ou en aide à la négociation. Il s'agit de construire la légitimité du monde virtuel non

seulement comme représentation du monde réel, mais aussi comme outil auquel on peut faire recours pour discuter sur celui-ci.

6 Cette légitimité est nécessaire dès le début d'un processus de négociation car elle participe à l'une des phases les plus importantes : la construction d'une représentation commune du système sur laquelle il doit y avoir un accord partagé des parties prenantes à la négociation (Boltanski et Thévenot, 1991). Pour les questions de gestion des ressources en eau en particulier, tous les cas pour lesquels la construction d'un modèle utilisé dans une négociation n'a pas été publique se sont soldés par des échecs (Reitsma *et al.*, 1996).

7 Cette construction de la légitimité du modèle est ici envisagée par deux moyens :

- par la communication du contenu ;
- par une construction participative de l'outil.

8 Dans le premier cas, la construction du monde virtuel précède l'implication des acteurs en ayant recours à un modélisateur extérieur[4] qui propose une représentation pouvant servir d'amorce de représentation commune. Il est alors nécessaire de trouver les moyens d'expliciter le contenu du modèle pour pouvoir faire discuter sur celui-ci.

9 Le deuxième cas propose d'impliquer les acteurs dès la construction du monde virtuel, d'en faire les véritables modélisateurs sans intermédiaire externe. Il est alors nécessaire de se donner les moyens de faire exprimer un modèle conceptuel collectif pour parvenir à la formalisation d'un modèle.

10 Dans les deux cas, on a en fait besoin d'un mode de communication entre les deux mondes, réel et virtuel.

Le jeu de rôle comme outil de communication

11 Le système virtuel repose à la fois sur un substrat informatique (sa partie visible) et sur un modèle conceptuel qui le sous-tend et qui constitue ce qui doit être communiqué. Si le langage naturel n'est pas approprié pour la description de systèmes dynamiques complexes et de scénarios d'évolution, les jeux, dont la pratique est ancienne et courante dans de nombreuses sociétés (Huizinga, 1951), peuvent constituer un mode de communication alternatif et avec de plus grandes capacités pour la description de dynamiques. On s'est intéressé en particulier aux jeux de rôles, déjà utilisés en tant que tels pour des questions de gestion de l'environnement (Mermet, 1992). L'utilisation d'un jeu de rôles dans un tel cadre a déjà été testée de manière satisfaisante, par exemple pour le développement d'une zone rurale (Piveteau, 1995).

Complémentarité a priori entre SMA et jeu de rôles

12 Le modèle conceptuel sur lequel est basé tout SMA comporte un ensemble de rôles et de règles de comportement pouvant aussi bien être joués par un être humain que simulés par un ensemble de lignes de code informatique (Hanneman, 1995). Cette multiplicité de formes possibles d'expression du modèle conceptuel induit un parallèle entre jeu de rôles ou pièce de théâtre, d'une part, et système multi-agents, d'autre part. Ce parallèle peut se décliner sur plusieurs niveaux (tableau 1).

13 II y a donc bien une complémentarité a priori entre les deux outils, pouvant être de fait deux formes d'un même modèle. Cette complémentarité est bien à double sens et le jeu ne peut se substituer complètement au système multi-agents. La pratique du jeu dans des processus de négociation a en effet des limites, en particulier dans le temps nécessaire à sa conception, la phase d'analyse des résultats et la mise en commun de différents points de vue dans sa constitution (Piveteau, *ibid.*). Un jeu est limité également par la taille relativement faible des effectifs et des processus qu'il peut mettre en œuvre, en regard de la complexité des systèmes représentés (Mermet, *ibid.*). Le jeu a donc besoin d'être complété par d'autres outils apportant des possibilités de simulations contrôlées et répétées.

Tableau 1. Correspondance entre système multi-agent et jeu de rôles.

Système multi-agents	Jeu de rôles
Agent	joueur
Règle	rôle
pas de temps	tour de jeu
Simulation	session de jeu
Environnement	plateau de jeu

Du virtuel au réel…

14 Le premier besoin d'outil de communication entre monde réel et monde virtuel relevé consiste à expliciter le contenu du monde virtuel pour les acteurs concernés. Dans cet objectif, le jeu met l'acteur, utilisateur et/ou acteur représenté dans le modèle, en situation de l'agent qui est dans la machine, avec les hypothèses de représentation, les communications et les contrôles constitutifs du modèle (Bousquet *et al.*, 1999). Les rôles du jeu sont issus des règles mises en œuvre dans le modèle.

15 Ainsi le jeu permet de bien expliciter le contenu du modèle, de le confronter avec la perception qu'en ont les acteurs réels ou des observateurs avertis. Il permet également de travailler sur la dynamique en comparant l'évolution du jeu avec celle des simulations. La discussion des hypothèses du modèle à partir du jeu avec les acteurs concernés dans une perspective d'usage en aide à la négociation permet de pousser le travail de validation au niveau nécessaire pour un groupe donné avec cet objectif d'usage spécifique (Barreteau et Bousquet, 1999).

16 Cependant le jeu ne peut pas toujours communiquer toute la complexité d'un modèle. Ceci peut constituer une limite à cet usage et impose surtout un travail de traduction important.

… et du réel au virtuel

17 Le second besoin d'outil de communication entre monde réel et virtuel exprimé consiste à faire expliciter collectivement aux acteurs du système réel leurs comportements pour construire le modèle conceptuel à la base du système multi-agents. Le jeu peut alors fournir un moyen d'observer les règles en œuvre dans des processus de négociation, en amont de la négociation. C'est par exemple le cas dans des travaux dans la région de Vittel (Benoît *et al.*, 1998) et surtout en économie expérimentale (Ostrom *et al.*, 1994). Cependant ces cas imposent une situation de jeu, qui même si elle est proche du réel, reste un modèle et pose des contraintes au comportement des acteurs / joueurs. Pour aller vers un objectif de co-construction du modèle par les acteurs via le jeu, on doit donc les amener à définir eux-mêmes les rôles importants à mettre dans le jeu puis à en adapter les règles en le jouant.

Exemples d'application au Sénégal

18 Deux exemples sont traités ici plus en détail, tous deux situés au Sénégal, respectivement dans la moyenne vallée et dans le delta du fleuve, mettant chacun en œuvre l'un des deux modes de communication par le jeu exposés ci-dessus.

Shadoc, un système irrigué virtuel

19 Le premier exemple a pour cadre un travail sur la viabilité des périmètres irrigués dans la moyenne vallée du Sénégal qui nous a conduits vers le choix d'un SMA comme support de construction du modèle. La volonté de se concentrer sur les processus en œuvre dans les modes de coordination plus que sur les cas particuliers de chaque type de périmètre nous a orientés vers la construction d'un système irrigué virtuel, ne représentant aucun périmètre particulier, mais ne surprenant pas dans le décor de la moyenne vallée du Sénégal. C'est dans un deuxième temps que ce modèle fut transformé en jeu de rôles et présenté aux acteurs.

20 Le système irrigué virtuel *Shadoc*[5] consiste en un support d'expérimentation permettant de réfléchir sur les systèmes hydroagricoles réels, en levant les contraintes de taille, de durée, de contrôle des paramètres et d'effets négatifs potentiels sur ceux-ci. Il permet notamment de simuler l'évolution du système représenté, constitué d'un ensemble de parcelles, de canaux et de paysans, pour différentes hypothèses de règles collectives et individuelles (Barreteau et Bousquet, 2000). Cependant il n'est pas nécessairement aisé pour des acteurs extérieurs au processus de création du modèle d'entrer dans sa logique. Que ceux-ci soient familiers avec l'outil informatique ou avec le terrain représenté, le modèle conserve un aspect boîte noire qui rend nécessaire son explicitation. Le jeu mis au point pour ouvrir cette boîte noire se joue avec 10 à 15 joueurs et est constitué de cartes trilingues (français, pulaar, wolof) décrivant les comportements possibles pour chaque joueur : cartes décrivant l'objectif de mise en culture (fig. 1), cartes décrivant le statut social et cartes décrivant la propension du paysan à rembourser ses crédits. Chaque joueur tire au hasard une carte de chaque catégorie qui décrit son comportement au cours du jeu.

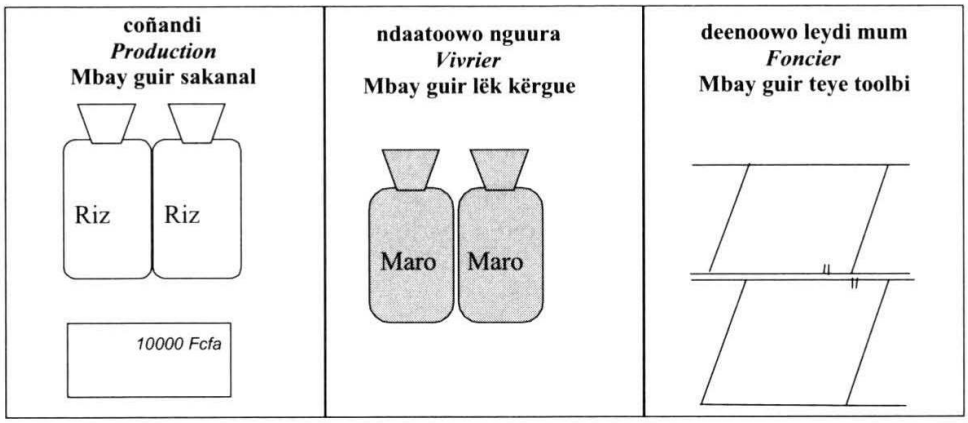


Figure 1. Ensemble des cartes « objectif » parmi lesquelles chaque joueur en tire une au hasard.

21 Les joueurs se trouvent alors dans une pièce représentant le lieu des villages. Dans une autre pièce représentant le lieu du périmètre, un aménagement correspondant au nombre de joueurs est dessiné sur un tableau (fig. 2), reprenant le nom du joueur attributaire de la parcelle, la hauteur d'eau et les choix faits au moment du semis entrant en compte dans le calcul du rendement.

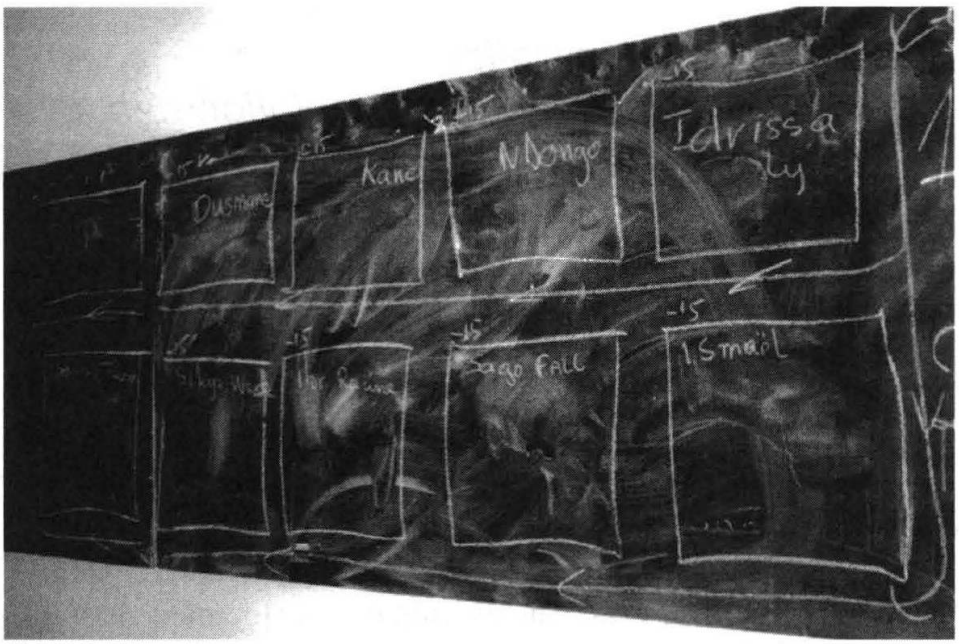


Figure 2. Représentation du périmètre simulé sur un tableau lors d'une séance de jeu.

22 Les séances de jeu se déroulent toutes sur une demi-journée, en trois étapes : présentation du jeu et des rôles, déroulement du jeu, discussion sur ce déroulement. Chaque campagne est subdivisée dans le jeu comme dans le modèle en trois phases se succédant strictement : recherche de crédit, entretien de l'irrigation à la fin de laquelle est calculé un rendement éventuel, bilan pouvant donner lieu à des changements de cartes si les joueurs le désirent. Les deux premières étapes sont menées à bien phase après phase. Les discussions avec les joueurs ont lieu dès les étapes de présentation des rôles. Ce jeu de rôles a d'abord été mené dans les villages mêmes où les enquêtes ayant permis la constitution du modèle ont été faites. Dans un deuxième temps, le jeu fut présenté lors d'un atelier organisé au Sénégal près de Saint-Louis, dans un contexte un

peu différent. Cet atelier durait trois jours : le premier jour, les joueurs découvraient le jeu de rôles, ce qui leur permettait de faire une ou deux campagnes. Le deuxième jour était consacré à un long jeu sur cinq ou six campagnes, permettant d'observer les effets à long terme des décisions. Le troisième jour, des simulations sur ordinateur ont été proposées, en utilisant une version simplifiée du modèle, correspondant exactement à la version proposée par le jeu.

Self Cormas : négociation d'un plan d'occupation et d'affectation des sols

23 Cette deuxième expérience a été réalisée en appui à un processus de négociation du plan d'occupation et d'affectation des sols (POAS) de la communauté rurale de Ross-Bethio dans le delta du Sénégal (d'Aquino *et al.*, *ibid.*). Avec cet objectif, les modélisateurs ont développé, non pas un modèle particulier, mais des outils au sein de la plateforme Cormas pour pouvoir formaliser le plus rapidement possible les connaissances acquises. En effet contrairement au processus Shadoc décrit ci-dessus, l'idée était de construire le modèle directement avec les acteurs.

24 Ce travail a consisté en trois ateliers de trois jours. Le premier atelier concernait les animateurs ruraux. Ces derniers sont des personnes choisies parmi les acteurs de la région et jouent un rôle d'animation dans les relations entre les paysans et le conseil rural. Le premier atelier avait lieu en langue française dans les locaux du Cifa (*Centre interprofessionnel de formation agricole*). Son but était de tester la démarche avant de se rendre dans les villages pour les deux autres ateliers. Ces derniers ont eu lieu dans les villages de Nboundoum et Ngnith, en wolof. Le thème choisi est celui de la coordination agriculture/élevage.

25 Environ 25 personnes ont participé à chaque atelier. Chacun de ceux-ci était organisé sur trois jours de la façon suivante :

- premier jour : identification des besoins des différents acteurs pour l'agriculture et l'élevage (qualité des sols, salinité de l'eau, distance à l'eau, distance entre parcelles..) ;
- premier jour : représentation d'une carte de la zone avec les indicateurs définis précédemment. Un système d'information géographique était disponible ;
- deuxième jour : un jeu de rôles est proposé pour représenter la dynamique du système. Mois après mois, chaque joueur décide de son activité et de son emplacement. Pour cela il utilise un post-it qu'il positionne sur la carte (fig. 3) ;
- deuxième jour : discussion sur les phénomènes et événements qui sont apparus pendant le jeu et qui ont du sens par rapport à la réalité. Définition avec les acteurs des scénarios possibles sous formes d'événements ou de tendance (croissance de la population, creusement de nouveaux canaux par exemple) ;
- troisième jour : le modèle multi-agents correspondant au jeu de rôles ayant été implémenté entre le deuxième et le troisième jour, les simulations sont présentées. La première des simulations représente le jeu de rôles de la veille puis d'autres scénarios sont discutés et simulés (fig. 4).



Figure 3. Jeu de rôles. Chaque mois le joueur vient et place un post-it sur la carte.

26 Dans cette expérience, la création d'un jeu de rôles avec les acteurs a constitué une méthode pour identifier collectivement des comportements et des interactions. Cette séquence permet aussi une discussion sur les résultats du modèle. Les acteurs qui ont créé

et joué le jeu sont capables d'interpréter les résultats du modèle parce que celui-ci leur apparaît légitime.

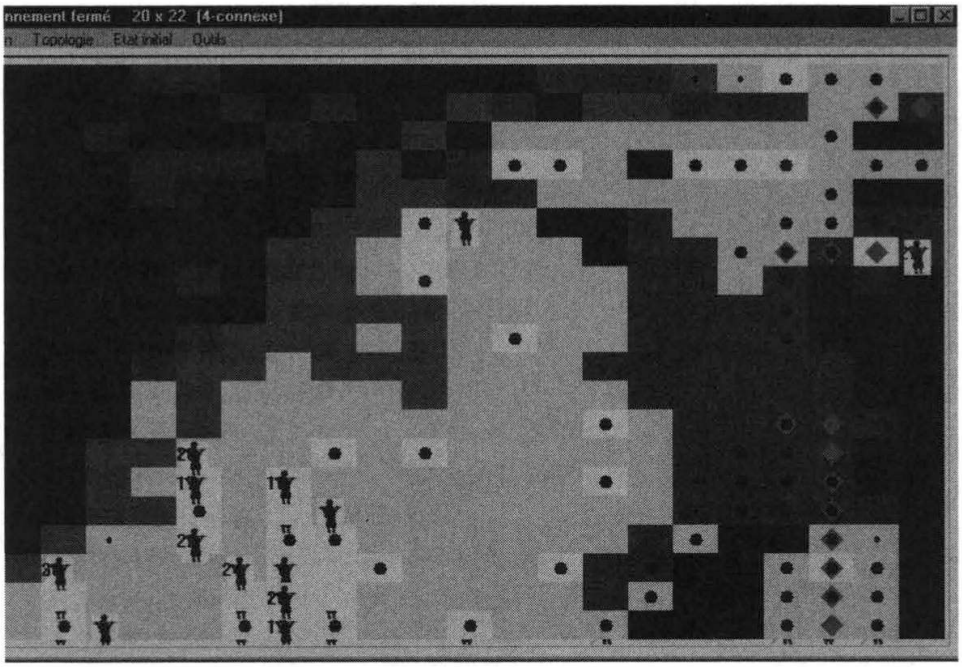


Figure 4. La carte à la fin de la simulation. Les ronds noirs sont des cultures. En blanc les zones où la ressource a été consommée. Sur cette copie d'écran on voit que les éleveurs qui n'ont pas accès à l'eau partent vers les secteurs à la végétation pauvre.

Discussion

27 Ces deux exemples apportent un certain nombre d'éclairages quant à la capacité des jeux de rôles à participer à la légitimation de l'usage d'un système virtuel pour parler d'un système réel. Par ailleurs, ce mode d'acquisition de légitimité, par appropriation progressive du système virtuel, permet de mieux valoriser l'expertise existant sur ces systèmes.

Acceptation locale des outils mis en œuvre

28 Dans les deux expériences, nous avons pu à la fin des ateliers utiliser les versions sur ordinateur des modèles conceptuels et faire discuter des systèmes réels à partir des simulations. Les acteurs ont été capables de suivre à l'écran les différents scénarios, de les discuter et d'en proposer de nouveaux. Les principaux problèmes de gestion de l'espace et des ressources apparaissent aisément dans les simulations. Il n'est point besoin d'agents très compliqués. Les événements que les acteurs reconnaissent à l'écran sont porteurs de beaucoup de discussions.

29 Dans la première expérience, les acteurs présents ont baptisé en pulaar le modèle *njoobaari ilnoowo,* ce qui pourrait se traduire par « le nécessaire de voyage de l'irriguant ». Ils se sont ainsi non seulement appropriés l'ensemble, en lui donnant bien le sens d'un modèle d'accompagnement de la réflexion, de support de discussion. Plusieurs d'entre

eux ont demandé à pouvoir conserver un exemplaire du jeu, afin de s'en servir pour animer des discussions sur les systèmes réels dans leurs villages respectifs.

30 Il y a donc bien eu légitimation d'un système virtuel pour *parler* d'un système réel. Cette légitimation n'est cependant vraie actuellement que pour des usages en animation, un suivi est en cours pour ce qui de la légitimité en tant qu'outil d'aide à la décision collective qui ne pourra être appréhendée qu'avec un minimum de recul.

Mise en valeur de l'expertise

31 Ces démarches basées sur la participation des acteurs soit à la validation soit à la construction d'un modèle pourraient mettre en doute l'intégration d'expertise sur les systèmes réels. Comment peut se positionner l'intervention de chercheurs et d'experts, mis à part l'animation et l'aide à la programmation[6], si les usagers d'une ressource se mettent à pouvoir faire leur modèle tout seuls ?

32 En effet, même dans le premier exemple où le modèle avait été constitué auparavant par les chercheurs, il n'y avait rien dans le modèle de nouveau qui n'ait été connu par les acteurs, puisqu'il avait été fait sur la base de leurs dires. Le système virtuel et la médiation par le jeu permettent en fait de rendre connaissance commune des savoirs qui étaient auparavant individualisés et d'amener des usagers hétérogènes à mieux comprendre les perceptions de chacun. Il y a donc là une mise en commun de l'expertise propre à chaque partie prenante dans une négociation. Quant à l'apport des chercheurs, il concerne la connaissance de l'objet plus que l'objet lui-même.

33 L'expertise externe sur le système a été assez peu prise en compte, mais elle pourrait l'être davantage. Ainsi pour la deuxième expérience, dans le contexte d'un village, Nboundoum, l'atelier a permis de discuter du besoin et de la localisation d'aménagements pastoraux, ce qui était un sujet peu abordé jusqu'alors. Décision fut prise de faire une formation sur les aménagements pastoraux. Il ne revient pas alors au modèle de donner des solutions aux problèmes mais de favoriser la discussion sur les différentes alternatives, d'envisager collectivement des actions. Le recours à l'expertise technique est l'étape qui a suivi cette décision collective en allant chercher au centre ISRA (Institut sénégalais de recherche agronomique) voisin un zootechnicien pouvant répondre aux questions posées collectivement. On peut faire l'hypothèse que l'expertise ainsi recherchée sera plus appropriée.

Conclusion

34 Ces expériences montrent donc bien qu'il y a une complémentarité entre jeux de rôles et SMA qui rend tout à fait pertinente l'usage de mondes virtuels pour la recherche mais aussi pour la gestion de ressources. En ayant bien intégré le contenu du modèle (par une discussion de ses processus ou une participation à sa construction), les usagers d'une ressource accordent plus de légitimité à son usage pour discuter des systèmes réels. Au passage, ces démarches semblent valoriser d'une nouvelle façon l'expertise technique existant sur les systèmes réels.

35 Des recherches complémentaires sont cependant nécessaires pour valider l'hypothèse d'efficacité de ces outils du double point de vue de leur capacité à favoriser l'émergence de règles collectives utilisées et de l'impact secondaire de leurs usages.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

d'Aquino P., Etienne M., Barreteau O., Le Page C, Bousquet F., 2000 – « Modélisation d'accompagnement : l'usage des simulations multi-agents dans des processus de décision sur la gestion des ressources naturelles ». *In :* Le *pilotage des agro-écosystèmes : complémentarités terrain-modélisation et aide à la décision,* Cirad, Montpellier.

Barreteau O., Bousquet F., 1999 – « Jeux de rôles et validation de systèmes multi-agents ». *In* Gleizes M.-P., Marcenac P. (éd.) : *7e Journ. francophones d'intelligence artificielle distribuée et systèmes multi-agents,* St-Gilles, 8-10 novembre 1999, Hermès : 67-80.

Barreteau O., Bousquet F., 2000 – Systèmes multi-agents et viabilité des systèmes irrigués. *Technique et Science Informatique,* Hermès, Paris, 19 (7) : 943-962.

Barreteau O., Bousquet F., Attonaty J.-M., 2000 – « Role-playing games for opening the black box of multi-agent Systems : method and teachings of its application to Senegal River Valley irrigated Systems ». *In* : Workshop Modelling agent interaction in natural resource and environment management, Montpellier, 29-31 march, 2000.

Benoit M., Chicoisne G., Deffontaines J.-P., Hervé D., Lardon S., Le Ber F., Mullon C, Papy F., Souchere V., Thinon P., Tichit M., Treuil J.-P., 1998 – « Coordonner des jeux de rôles sous contraintes environnementales : des jeux de rôles aux modèles multi-agents ». *In* Ferrand N. (éd.) : *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires,* actes du colloque Smaget, Cemagref : 279-292.

Boltanski L, Thévenot L, 1991 – *De la justification, les économies de la grandeur.* Gallimard.

Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C, 1998 – « Cormas : common-pool resources and multi-agent Systems ». *In* : 11th IAEE conférence, Barcelone, 1-4 juin 1998, *Artificial Intelligence,* Lecture notes, 1416 : 826-838.

Bousquet F., Barreteau O., Le Page C, Mullon C, Weber J., 1999 – « An environmental modelling approach. The use of multi-agent simulations ». *In* Blasco F., Weill A. (éd.) : *Advances in environmental modelling,* Elsevier : 113-122.

Ferber J., 1995 – *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective.* InterEditions.

Hanneman R., 1995 – Simulation modeling and theoretical analysis in sociology. *Sociological perspectives,* 38 (4) : 457-462.

Huizinga J., 1951 – *Homo ludens, essai sur la fonction sociale du jeu.* Gallimard, coll. Tel.

Ferrand N., 1999 – *Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires.* Cemagref, Antony.

Mermet L., 1992 – *Stratégies pour la gestion de l'environnement, la nature comme jeu de société ?* L'Harmattan, Paris.

Moss S., Davidsson P., (2001) – *Multi-agent based simulation.* LNAI séries, Springer.

Ostrom E., Gardner R., Walker J., Rules, 1994 – *Games and common-pool resources.* The University of Michigan Press.

Piveteau V., 1995 – *Prospective et territoire : apports d'une réflexion sur le jeu.* Cemagref, Antony.

Reitsma R., Zigurs I., Lewis C, Wilson V., Sloane A., 1996 – Experiment with simulation models in water-resources negotiations. *Journal of water resources planning and management,* 122 : 64-70.

Sichman J. S., Conte R., Gilbert N., 1998 – *Multi-agent Systems and agent based modelling.* Springer.

NOTES

1. *Journal of artificial Systems and social simulations,* http://jasss.soc.surrey.ac.uk/JASSS.html
2. Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires.
3. *Multi-agent Systems and agent-based simulation.*
4. On ne fait pas d'hypothèse à ce niveau là sur les moyens utilisés par le modélisateur pour arriver à la construction du monde virtuel amorce de la discussion, même si celle-ci a probablement une importance non négligeable.
5. Simulateur hydroagricole décrivant les modes d'organisation et de coordination.
6. Rôles qui pourraient être remplis par des conseillers quand les méthodes actuellement à l'étude seront mises au point.

AUTEURS

OLIVIER BARRETEAU

Hydro-agronome. Cirad-Tera, Baillarguet Bat E, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France, barreteau@cirad.fr

PATRICK D'AQUINO

Agronome. Cirad, BP 175, Saint-Louis, Sénégal, daquino@cirad.fr

FRANÇOIS BOUSQUET

Modélisateur. Cirad-Tera, Baillarguet Bat E, BP 5035, 34032 Montpellier cedex 1, France, bousquet@cirad.fr

CHRISTOPHE LE PAGE

Modélisateur. Programme ERE, Cirad-Tera, av. Agropolis, 34398 Montpellier cedex 5, France

Modélisation hydraulique et gestion sociale de l'eau

Stéphanie Duvail, Ger Bergkamp, Mohamed Lemine Ould Baba, Mike Acreman et Olivier Hamerlynck

1 Dans les années soixante-dix, les gouvernements du Mali, du Sénégal et de la Mauritanie ont créé l'*Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal* (OMVS) et ont lancé la construction de deux grands barrages. A l'entrée du delta du fleuve Sénégal, le barrage anti-sel de Diama, opérationnel depuis 1986, a pour fonction d'empêcher la remontée des eaux salées marines. Sur le haut-bassin, le barrage réservoir de Manantali au Mali, mis en service en 1988, permet de contrôler 50 % des écoulements du bassin versant du fleuve Sénégal (fig. 1).

2 Ces grands barrages, censés apporter un bien-être aux populations, sont en fait surtout gérés en fonction de considérations techniques, économiques et politiques définies à l'échelle des trois pays et très peu en tenant compte des besoins réels des usagers à l'échelle locale. Cette attitude n'est pas nécessairement le résultat d'une mauvaise volonté mais, plus probablement, le reflet d'une difficulté réelle de la part des décideurs, des gestionnaires et des scientifiques à définir une gestion de l'eau qui soit à la fois rationnelle et « sociale », c'est-à-dire qui prenne en compte les besoins de tous les usagers.

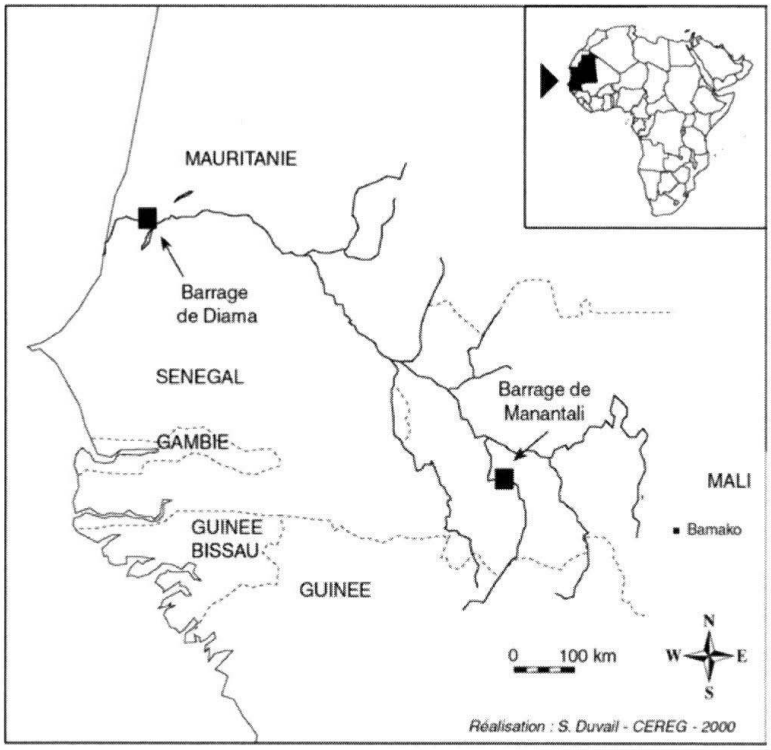


Figure 1. Le bassin du fleuve Sénégal et ses grands aménagements hydrauliques.

3 Ainsi, l'un des objectifs principaux qui a présidé à la construction du barrage de Diama était de subvenir au déficit alimentaire des années soixante-dix par le développement d'une riziculture irriguée. En rive droite de la basse vallée du fleuve, entre Rosso et Keur Macène, le modèle d'une riziculture intensive pratiquée par des investisseurs privés sans tradition agricole venus de la capitale Nouakchott, est devenu dominant. Mais les prévisions concernant l'irrigation ont été trop optimistes et les impacts négatifs de ces aménagements ont été mal évalués, notamment ceux consécutifs à la perte des fonctions traditionnelles des plaines d'inondation (alimentation des nappes souterraines, agriculture de décrue, pâturage, pêche, production de bois). Pour des raisons diverses (priorité donnée à l'agriculture, disharmonies institutionnelles), les intérêts des usagers non agricoles, tels que pêcheurs, éleveurs et cueilleurs, ne sont pas pris en compte dans le processus de décision (Duvail *et al.*, 1998 b). Cet état de fait persiste alors même que la rentabilité des périmètres rizicoles n'atteint pas les résultats escomptés (OMVS *et al.*, 1998)

4 En aval du barrage de Diama, les terres sont plus salées et un autre schéma d'aménagement existe : dans le bas delta, les eaux douces sont utilisées pour valoriser la plaine d'inondation comme espace de pêche et d'élevage. La crue est générée de façon artificielle par l'ouverture d'ouvrages hydrauliques. Une expérience de gestion concertée entre les gestionnaires du Parc national de Diawling et les populations locales y est menée (Hamerlynck *et al.*, 1999). La gestion de l'eau dans ce nouveau système hydraulique s'avère complexe pour des raisons techniques (il ne suffit pas d'ouvrir les vannes pour restaurer les conditions hydrologiques d'avant-barrage), mais aussi en raison de la difficulté de concilier les intérêts des différents utilisateurs.

5 L'exemple de la gestion du bassin du Bell est intéressant à cet égard : dans le cadre de l'élaboration d'un plan de gestion du bas delta mauritanien, une négociation entre les

différents utilisateurs du bassin a été initiée pour définir un calendrier de gestion des eaux qui soit consensuel. Ce scénario est affiné chaque année en tenant compte des leçons tirées des premières inondations. Un modèle hydraulique et une bonne connaissance des corrélations spatiales entre hauteurs d'eau et ressources naturelles permettent d'aider les acteurs à définir en commun un calendrier d'inondation. Ce modèle hydraulique permet aussi d'explorer d'autres scénarios de gestion des eaux et de cerner ceux qui sont porteurs de risques environnementaux ou sociaux.

Une expérience de gestion : la remise en eau du bassin du Bell

Le peuplement et l'organisation foncière traditionnelle du bas-delta mauritanien

6 Historiquement, la rive droite de la basse vallée du fleuve Sénégal (fig. 2) est une zone de contact entre les populations wolofs sédentaires du royaume de Waalo et les nomades maures (Barry, 1985), ce que reflète la composition ethnique actuelle du bas-delta mauritanien avec environ 50 % de populations maures, 46 % de populations wolofs et quelques groupes peuls (4 %).

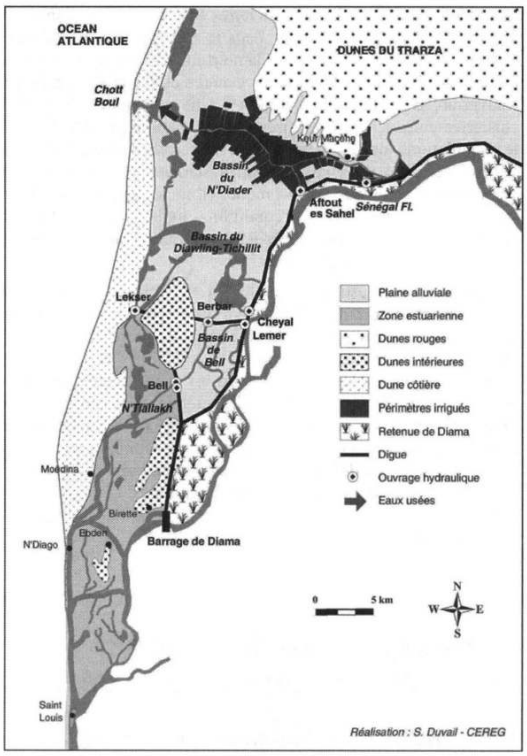


Figure 2. Le bas-delta mauritanien : unités morphologiques et principaux ouvrages hydrauliques.

7 Dans le bas-delta, l'affirmation identitaire de chacune de ces communautés est forte et les stratégies d'exploitation du milieu sont différentes, y compris entre tribus maures. La société maure est en effet organisée en tribus qui, au-delà de l'appartenance à une même lignée, sont aussi des entités économiques et institutionnelles (Marchesin, 1992). Au siècle dernier, les tribus guerrières (*hassan*), avaient le monopole des fonctions militaires et leurs revenus étaient assurés par les redevances que versaient leurs tributaires en

échange de leur protection. D'autres sources de revenus étaient les droits collectifs de passage et le butin des razzias. Les tribus maraboutiques (*zawaya*), descendantes de tribus berbères, exerçaient quant à elles des fonctions religieuses et détenaient les richesses (élevage, agriculture, commerce) (Ould Cheikh, 1985 ; Marchesin, 1992). A cette distinction statutaire entre tribus guerrières et tribus maraboutiques s'ajoute une organisation verticale hiérarchique distinguant *beydanes* (Maures blancs) et *haratines* (anciens esclaves aujourd'hui affranchis). Cette organisation sociale influence jusqu'à ce jour les problématiques foncières en rive droite du fleuve (Ould al-Barrâ et Ould Cheikh, 1997). Dans les années soixante, la pêche en cuvette était la principale activité des maures de la tribu guerrière Taghrédient. Elle était pratiquée également par les *haratines* des tribus Tengha. Les factions *beydanes* de ces tribus Tengha étaient spécialisées dans l'élevage bovin et le commerce de bétail. Les pâturages salés du bassin du N'Tiallakh étaient également parcourus par les troupeaux camelins des tribus Bouhoubbeyni et Ahel Barekala. Les Wolofs de N'Diago entretenaient d'importantes relations commerciales avec le Sénégal et particulièrement avec la ville de Saint-Louis très proche, mais vivaient surtout du maraîchage interdunaire pratiqué en complémentarité d'une pêche côtière (Vazart, 1957). Dans ce type de système à usage multiple, un même bassin pouvait faire l'objet de plusieurs exploitations successives en fonction des saisons hydrologiques. Mais les ressources naturelles ne peuvent être considérées comme étant en libre accès. Au contraire, ces multiples activités étaient conduites selon des règles précises d'appropriation des ressources naturelles. Et l'espace était organisé en territoires tribaux dont les accès étaient réglementés par quelques communautés. Ce découpage de l'espace est le résultat d'une longue histoire de luttes d'influences et de conflits fonciers (Duvail *et al.*, 1998 a). Ainsi dans les années soixante, trois groupes de populations utilisaient l'espace du bassin de Bell, sous l'autorité foncière de la tribu guerrière Taghrédient, principale utilisatrice du bassin. Les hommes pêchaient à la décrue sur des portions du marigot appropriées individuellement (*meshras*) ou bien collectivement au moyen de petits barrages équipés de nasses en *Sporobolus robustus.* A partir du mois de janvier, les femmes de la tribu Taghrédient cueillaient le *Sporobolus Robustus* du bassin de Bell pour tisser des nattes vendues à prix fort sur les marchés urbains. Un droit de cueillette était accordé par les maures Taghrédient aux femmes de la tribu Idiawadj de la dune voisine de Birette. Cette tribu est placée sous la protection des guerriers Taghrédient depuis un conflit armé qui, en 1934, opposa la tribu Idiawadj aux *haratines* des tribus Tengha Egdebiaye. Enfin le bassin du Bell faisait partie des parcours traditionnels des Maures Tengha Egdeboubak, les pâturages à *Echinochloa colona* étant appréciés de leurs troupeaux bovins en saison sèche.

L'assèchement du bassin de Bell

8 Les constructions d'une digue à l'ouest du bassin (1984) pour les besoins du barrage de Diama (achevé en 1988) puis d'une digue en rive droite du fleuve (1991) ont progressivement coupé le bassin de son alimentation en eau (fig. 2). Pour compenser les effets du barrage de Diama, les premières études d'impact préconisaient la création d'un Parc national doté d'infrastructures hydrauliques permettant la remise en eau des bassins avant l'achèvement du barrage (Ganett Fleming Corddry *et al.*, 1980). Mais c'est à partir de 1994 seulement que le bassin a pu être à nouveau inondé avec la mise en service de l'ouvrage d'alimentation de Lemer et de l'ouvrage de vidange du Bell (fig. 2). Entre-temps, les dix années d'assèchement du bassin avaient presque mis un terme à la pêche. Une

importante proportion des pêcheurs Taghrédient avaient émigré à Nouakchott et les femmes avaient abandonné la sparterie pour travailler saisonnièrement dans les rizières du moyen delta. Le schéma directeur pour la rive droite (1991) prévoyait l'aménagement de périmètres irrigués dans certaines parties du bassin de Bell, mais les pêcheurs Taghrédient refusèrent la conversion de leur bassin en casiers rizicoles.

Les consensus initiaux

9 Dans le cadre d'un projet du programme zones humides de l'UICN (Union mondiale pour la nature), un processus de concertation entre les gestionnaires du Parc national du Diawling et les populations locales a été mis en place pour déterminer un nouveau schéma de gestion des eaux (Hamerlynck *et al.*, 1999). A l'issue des premières missions de concertation, un consensus fut établi entre les gestionnaires du Parc National et les utilisateurs traditionnels du bassin pour essayer de générer une inondation conforme à la crue naturelle et ainsi favoriser la reprise des activités de pêche, d'élevage, de cueillette et éventuellement démarrer de nouvelles activités de maraîchage et d'écotourisme.

10 Les pêcheurs Taghrédient, qui ont une connaissance très précise des caractéristiques hydrologiques et des schémas de migration et de reproduction des poissons prévalant avant les barrages (Diagana, 1997), ont demandé l'ajout de l'ouvrage hydraulique de Berbar au schéma d'aménagement afin de permettre aux poissons de circuler vers les frayères du bassin de Diawling-Tichilitt. Dans le détail, la mise au point du calendrier d'ouverture et de fermeture des ouvrages s'est avérée complexe car il s'agissait de concilier des intérêts divergents. Le système hydraulique permettant de contrôler totalement les entrées et les sorties du bassin, l'intérêt des pêcheurs est de simuler une année de bonne crue (*Beckkoor*). Ils ont proposé une inondation précoce (sachant que les *Tilapia* sont prêts à frayer dès le mois de juillet), à des cotes élevées, suivie d'une lente décrue. Mais les femmes et les éleveurs ont objecté que le *Sporobolus robustus* ainsi que d'autres graminées avaient besoin de pluie avant l'inondation pour garantir leur développement. Il aurait ainsi fallu retarder l'inondation jusque vers début août, ce qui aurait considérablement raccourci la période de croissance des poissons. Par ailleurs, une période d'inondation trop longue n'emportait pas l'adhésion des éleveurs, car cela aurait favorisé la prolifération de cypéracées d'une valeur fourragère moindre que celle des graminées.

11 Il a donc été décidé de simuler les pluies en laissant une mince couche d'eau recouvrir les partie les plus basses de la plaine d'inondation en juillet, avec un rythme d'élévation des hauteurs d'eau ne dépassant pas un centimètre par jour jusqu'au début du mois d'août. Enfin, dans le souci de favoriser la régénération de la mangrove dans l'estuaire du N'Tiallakh, les gestionnaires du Parc national du Diawling ont proposé de diluer les eaux hyper-salées de l'estuaire grâce à une inondation en avril. Il a été préconisé de réaliser cette inondation dite de contre-saison à une cote inférieure à 1 mètre IGN pour ne pas dépasser les levées des lits mineurs des marigots et éviter ainsi que les graminées n'entament trop précocement leur cycle végétatif. Les premières négociations entre utilisateurs des eaux ont eu lieu en 1994. Les consignes d'inondation des bassins issues de ces compromis sont détaillées dans un plan de gestion du Parc national du Diawling, dont la version finale a été adoptée en 1998 (UICN *et al.*, 1997). La figure 3 formalise les besoins en eau des différents acteurs ainsi que le scénario consensuel adopté au terme de ces négociations.

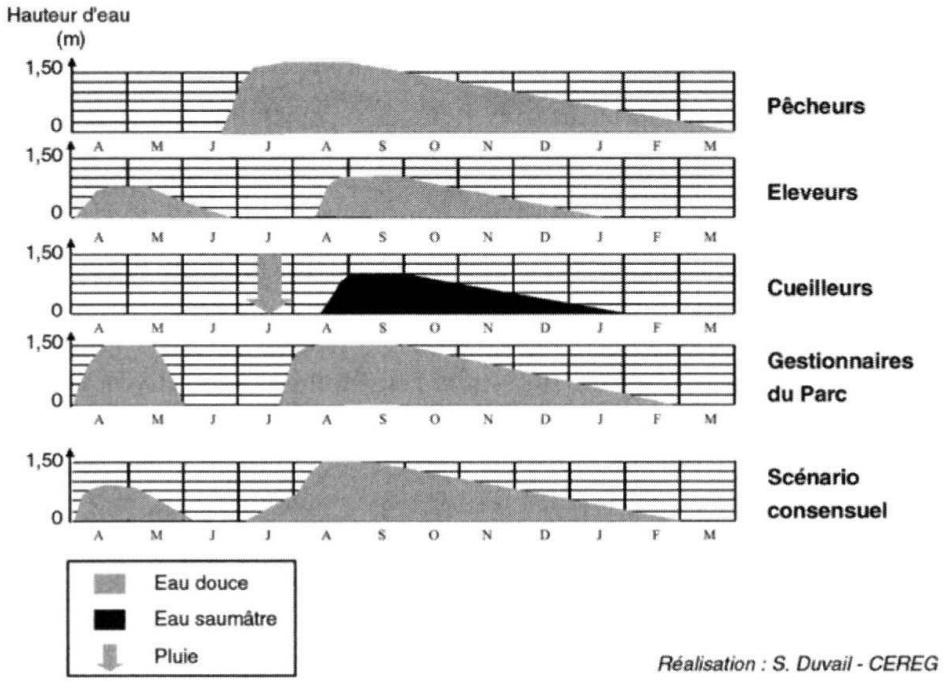


Figure 3. Confrontation des calendriers des besoins en eau des différents utilisateurs du bassin du Bell.

Les premiers conflits d'usage

12 Pourtant, un accord portant sur le seul calendrier d'inondation, même s'il est essentiel, ne semble pas suffisant pour garantir une gestion rationnelle des eaux. En effet, dans un tel hydrosystème en mutation, les évolutions des projets des acteurs peuvent être très rapides. Les revendications sont d'autant plus fortes que la possibilité nouvellement offerte de modifier les scénarios d'inondation fragilise la portée des règles traditionnelles de partage des ressources – règles qui étaient basées sur une adaptation des calendriers d'activité à la crue naturelle. Les rapports de forces ne se jouent plus seulement entre les différentes communautés maures, mais plutôt entre groupes d'usagers du bassin.

13 Les premières négociations ont lieu en fonction des différentes perceptions du milieu : vision technicienne des consultants, perception naturaliste des organismes de conservation ou connaissances traditionnelles issues de l'expérience. Mais personne ne connaissait réellement le futur fonctionnement du système artificialisé. Des difficultés d'appréciation naissent aussi du fait que beaucoup de règles « traditionnelles » deviennent caduques, même si elles sont basées sur un savoir-faire local empreint d'une connaissance fine et précise de l'environnement. Par exemple, la règle qui veut que l'eau arrivant à la taille d'un pêcheur se tenant debout dans le bassin soit un signe de l'inondation des *sebkhas* les plus septentrionales (fait qui signifie pour les pêcheurs une perte de production halieutique dans le bassin de Bell) est devenue erronée, car elle ne tient pas compte de l'effet des endiguements. De plus, les stratégies des différents acteurs ont évolué. Ainsi, les pêcheurs ont rapidement abandonné la pêche à pied sur parcelles individuelles pour poser les filets et leurs palangres là où se concentre le poisson, c'est-à-dire à proximité des ouvrages hydrauliques, ce qui nécessite, au maximum de l'inondation, de disposer d'une embarcation. Plus encore, des phénomènes de

concurrence se sont développés au sein d'un même groupe socioprofessionnel et ethnique. Ainsi les pêcheurs Taghrédient originaires de Keur Macène se sont progressivement positionnés sur l'ouvrage de Cheyal, tandis que les pêcheurs Taghrédient originaires de Ziré se sont appropriés l'ouvrage de Lemer. Tous ont alors souhaité que l'ouvrage de Berbar reste fermé, alors même que celui-ci avait été conçu pour permettre la circulation du poisson entre les deux bassins. Par ailleurs, de nouveaux arrivants ont remis en cause les premiers consensus établis en initiant des stratégies d'exploitation différentes. Un conflit est apparu lorsque des femmes du moyen delta sont venues cueillir le *Sporobolus robustus* du Bell en utilisant une technique de fauchage à la faucille, tandis que les cueilleuses locales arrachent les tiges. De même, compte tenu de la disparition des pâturages de décrue dans le moyen delta où l'emprise spatiale des périmètres est forte, le bassin de Bell a été pâturé en 1997 par près de 1 200 bovins venant du nord. Les éleveurs locaux ont protesté et certains ont émis le souhait d'interdire l'accès du bassin de Bell aux éleveurs non locaux. Une forme intensive de pêche aux crevettes est également apparue dans le bassin voisin du N'Tiallakh. Cette activité était autrefois pratiquée à petite échelle par la population locale. En 1997, un homme d'affaires a obtenu un permis d'exploitation auprès du ministère des Pêches. Cette situation génère d'intéressantes opportunités de travail salarié, mais elle dérange aussi les habitudes d'une population plus habituée à une exploitation individuelle des ressources. Qui plus est, l'activité attire de nombreux pêcheurs sénégalais, ce qui ranime des dissensions récentes. Le groupe des pêcheurs Taghrédient, normalement spécialisé dans la pêche en eau douce, s'est scindé : une partie du groupe participe à la pêche aux crevettes dans l'estuaire ; l'autre partie, sous l'autorité d'un nouveau chef de pêche, s'est positionnée près des ouvrages hydrauliques. Enfin, des problèmes nouveaux sont apparus : la vidange du bassin par l'ouvrage de Bell s'est avérée difficile en raison de l'existence d'un seuil topographique, et la stagnation des eaux a favorisé le développement de plantes colonisatrices. Par ailleurs, la partie sud-est du bassin de Bell s'est salinisée sous l'effet d'une remontée de la nappe salée (en relation avec la pression hydrostatique exercée par les milliers de mètres cubes stockés à Diama). Enfin, la régénération des espèces herbacées a permis une croissance des troupeaux, ce qui a des effets négatifs sur la régénération des ligneux (Hamerlynck *et al.*, ce volume[1]).

L'apport de la modélisation

14 La remise en eau d'une plaine inondable crée donc des conditions nouvelles de fonctionnement du milieu naturel et humain. Ce caractère inédit est à l'origine d'une effervescence de questions de la part des populations locales, des gestionnaires et des chercheurs. Les modifications rapides du milieu génèrent aussi des stratégies adaptatives très dynamiques. Les scénarios de gestion des eaux, même consensuels, ne peuvent dans ce contexte être établis « une fois pour toute ». Au contraire, une gestion concertée implique un suivi et une renégociation permanente des consignes de gestion, éclairées à l'épreuve des faits. La modélisation est venue en appui à ce processus de gestion concertée. Elle est devenue une méthodologie incontournable aussi bien pour formaliser et vérifier la cohérence des connaissances acquises, que pour rendre ces connaissances opérationnelles à des fins techniques d'aide à la décision (Lévêque *et al.* 2000). Dans les systèmes complexes, des simulations multi-agents sont utilisées pour définir des scénarios d'exploitation d'une ressource, par exemple ichtyologique (Morand et

Bousquet, 2000) ou pour modéliser des décisions d'acteurs (Rouchier et Requier-Desjardins, 2000 ; Le Fur, 2000).

15 Dans notre zone d'étude, la problématique principale est celle du choix de scénarios d'inondation et la modélisation est de type hydraulique. Un premier objectif est de décrire le fonctionnement hydraulique du système artificialisé. On cherche en particulier à établir une relation entre les ouvertures des ouvrages hydrauliques et la dynamique spatiale de l'inondation. L'intégration de ces cartes dynamiques d'inondation dans un SIG permet ensuite de confronter les conditions d'inondations, la répartition des ressources naturelles et les stratégies des acteurs, observées par ailleurs. Un deuxième objectif est d'alimenter les discussions entre acteurs en simulant des scénarios d'inondation inédits. La mise en place d'un réseau de suivi de l'hydrosystème par une équipe pluridisciplinaire et multi-institutionnelle s'est avérée cruciale. Mais compte tenu de la complexité du fonctionnement d'un système deltaïque et des manques de données, les réponses apportées à ces questions sont parfois davantage fondées sur le bon sens que véritablement démontrées, et c'est pourquoi les connaissances traditionnelles doivent être utilisées en appui aux connaissances scientifiques.

Les stratégies spatio-temporelles des acteurs confrontées aux conditions environnementales

La modélisation hydraulique

16 Un suivi hydrologique de la remise en eau des bassins a été réalisé. Le réseau hydrographique a été équipé d'échelles limnimétriques (28 sites), d'une station hydrométrique et d'une station climatique automatique. Soixante-dix jaugeages ont été réalisés pour étalonner de manière précise les vannes des ouvrages d'entrée et de sortie des eaux. Des données sur la qualité des eaux (pH, conductivité, températures) ont été régulièrement acquises sur les 28 sites choisis. Un modèle numérique de terrain est construit sur la base d'un levé topographique au 1/20 000^{e} (cabinet Bocande & Bouette, Dakar) et d'une série de profils en long et en travers des marigots.

17 Ces données ont été utilisées pour modéliser le fonctionnement hydraulique du bas-delta selon deux méthodes. Dans un premier temps, des bilans d'eau à l'échelle des bassins hydrologiques ont été calculés au pas de temps journalier (Ould Baba *et al.*, 1998). Les volumes transités ont été transformés en hauteurs à partir de courbes de cubature et ensuite comparées aux chroniques des hauteurs d'eau réellement observées dans les bassins. Cependant, si cette approche en terme de bilans d'eau permet de vérifier la cohérence des données hydrologiques acquises, elle restitue mal la dynamique spatiale de l'inondation. Dans un second temps, les données hydrologiques ont donc été intégrées dans un modèle hydraulique unidimensionnel (Mike 11, du Danish Hydraulic Institute) qui, associé à un modèle numérique de terrain, permet de générer des cartes d'inondations dans l'interface graphique d'un système d'information géographique (Duvail *et al.*, 2001).

Relations entre types d'inondations et ressources naturelles

18 Le choix est fait de porter une attention particulière aux ressources naturelles utilisées par les populations, et en particulier aux ressources végétales et halieutiques, dont la disponibilité est un facteur important du choix des éleveurs, des cueilleurs et des

pêcheurs. Notre objectif n'est pas de décrire les interactions fonctionnelles entre écosystèmes et inondations, qui sont complexes (Lefeuvre, 2000), mais plutôt d'essayer de cerner les exigences écologiques des ressources végétales et halieutiques utilisées par les populations. Deux approches sont choisies : selon une approche géographique, les cartes d'inondations précédemment réalisées sont confrontées à la répartition des espèces végétales, cartographiée chaque année. La valeur fourragère des pâturages de décrue est également évaluée (Ould Sehle, 1999). D'autre part, les quantités de poissons pêchés et les quantités de *Sporobolus robustus* cueillis sont estimées (Morel, 1998) et exprimées en valeur monétaire en fonction des cours du marché, ce qui permet de définir la « valeur économique » (Barbier *et al.*, 1997) des différents scénarios d'inondation pour les communautés locales. Les processus complexes qui sont à l'origine de l'édification des ressources naturelles ne sont donc pas analysés. Seule est décrite la co-variation entre les conditions hydrologiques (superficies inondées, hauteur d'eau maximale atteinte et durée d'inondation), d'une part et la répartition des pâturages, les quantités de *Sporobolus robustus* cueillies et les quantités de poissons pêchées, d'autre part. De cette approche de type qualitative ou semi-quantitative sont déduits les facteurs favorisant ou limitant la présence des ressources naturelles utilisées par les populations. Ainsi, dans le bassin de Bell, l'étagement de la végétation entre le fond des cuvettes ennoyées en permanence et les parties élevées rarement atteintes par l'eau (*nebkhas*), est principalement le résultat de l'influence combinée de la hauteur d'eau et de la durée d'inondation (tableau 1).

Tableau 1. Conditions hydrologiques optimales de certaines espèces herbacées du bas-delta.

	Espèces herbacées	Hauteur optimale de tranche d'eau	Durée inondation optimale	Utilisation et «valeur économique»
Chenopodiacées	*Arthrocnemum macrostachyum*	< 5 cm	< 1 semaine	aucune
Graminées diverses	*Echinochloa colona*	5 à 40 cm	2 à 4 semaines	pâturage de qualité
	Sporobolus robustus	< 80 cm		pâturage, utilisation pour l'artisanat
	Sporobolus helvolus			pâturage
Cypéracées	*Bolboschoenus maritimus*		plusieurs mois	aucune
	Scirpus maritimus	0,80 à 1 m		aucune
	Cyperus rotundus			aucune
	Cyperus esculentus			aucune
Typhacées	*Typha domingensis*	0,80 à 1 m	toute l'année	aucune

19 Il est difficile en revanche de définir des relations spatialisées entre stock halieutique et hauteurs d'eau. Néanmoins, pour les pêcheries de plaines inondables, il est connu qu'il existe une corrélation forte entre l'inondation et la production halieutique (Laë, 1994).

Liens entre inondations et stratégies spatio-temporelles des populations

20 Dans un second temps, les liens existant entre disponibilité de ces ressources et stratégies d'usage des populations sont mis en évidence. D'un côté, l'abondance et la diversité des ressources naturelles sont déterminées par les conditions de mise en eau ; de l'autre, les acteurs locaux adoptent des stratégies spatiotemporelles d'usage de ces ressources (fig. 4).

21 Ces stratégies sont guidées à la fois par des choix économiques et par le respect de règles intercommunautaires de partage des territoires. Des cartes des usages de l'espace pour chaque saison hydrologique permettent de visualiser les modifications des territoires communautaires et de suivre l'évolution des stratégies spatio-temporelles des acteurs.

22 Cependant ce schéma est quelque peu déterministe. La reprise des activités de pêche, d'élevage et de cueillette est, bien entendu, déterminée par la disponibilité des ressources, mais pas seulement. Les choix socio-économiques des populations locales sont également guidés par un ensemble de facteurs politiques, sociaux et économiques, qui peuvent dépasser l'échelle du bas-delta. Ces facteurs externes peuvent être identifiés par des entretiens non directifs réalisés dans les villages ou sur les sites d'activité.

Un outil pour une gestion concertée

23 Les diagnostics réalisés pour les années 1997 et 1998 servent à élaborer plusieurs scénarios probables de trajectoire du système en fonction des choix hydrauliques possibles.

24 L'analyse prédictive n'est certes pas possible du fait que les relations entre les différentes variables du système ne sont pas linéaires et que les mécanismes à l'œuvre sont complexes. Mais pour chaque scénario, les éléments de l'écosystème et les usages de l'espace qui sont favorisés sont distingués de ceux qui sont exclus. Les bénéfices, les contraintes et les risques associés sont ensuite définis.

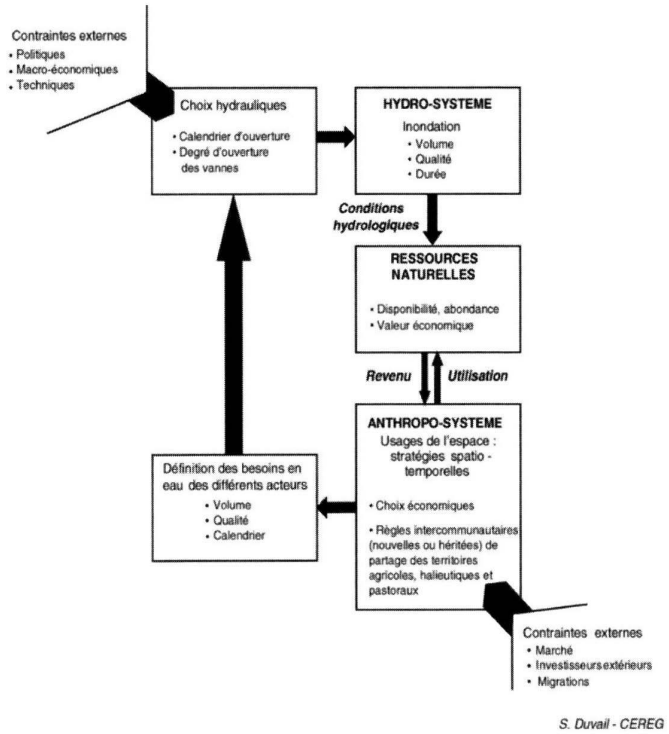


Figure 4. Interactions entre inondations et stratégies socio-économiques des acteurs.

Intérêt d'une approche prospective

25 A moyen terme, le modèle permet d'explorer des scénarios à risques et d'émettre des hypothèses quant aux processus qui entraîneraient des conséquences irréversibles. A court terme, l'intérêt d'une telle approche prospective consiste en la possibilité de pouvoir simuler des scénarios de gestion des eaux alternatifs s'il se pose un problème lors de négociations entre acteurs et de pouvoir ainsi favoriser l'émergence d'un scénario consensuel. En effet, « parler du futur a comme première conséquence de le modifier, en tout cas d'en modifier les conditions de réalisation » (Legay, 2000). Les études prospectives constituent ainsi « un moyen d'améliorer l'interaction stratégique entre les acteurs clés et d'anticiper la mise en œuvre politique » (Faucheux et Hue, 2000). Soulignons qu'il est néanmoins plus facile de tirer le bilan des inondations expérimentales que de discuter sur des cartes ou des documents qui ne sont d'ailleurs pas forcément lisibles et clairs pour l'ensemble des intervenants. Par ailleurs, aboutir à la définition d'un scénario consensuel au terme des négociations est le meilleur des cas, mais pas le plus fréquent. S'il se pose un problème de gestion des eaux dégénérant en conflit d'acteurs, la solution doit être trouvée dans l'urgence. La modélisation vient donc plutôt renforcer ou contredire l'argumentaire des scénarios négociés au préalable sur la base des observations concrètes.

26 Dans l'exemple du bassin du Bell, un premier désaccord opposait les éleveurs-cueilleurs et les pêcheurs à propos des hauteurs d'eau et de la durée des inondations. La solution initialement trouvée (réaliser une inondation précoce en juillet avec une augmentation progressive des hauteurs d'eau telle que décrite à la figure 3) ne s'est pas avérée pleinement satisfaisante pour plusieurs raisons : à partir de 1997, la communauté des pêcheurs Taghrédient de Ziré s'est scindée en deux groupes, menés chacun par un chef de

pêche. L'un a fait le choix de devenir une main-d'œuvre rémunérée pour une pêche à la crevette intensive dans l'estuaire, l'autre groupe a préféré conserver son indépendance et continuer à pratiquer la pêche en eau douce. Cette scission a généré une course à la productivité. Dans un tel contexte de compétition, les pêcheurs de l'ouvrage de Lemer ont émis le souhait que l'ouvrage soit ouvert dès le mois de juillet avec un fort débit, remettant ainsi en cause le scénario négocié. Or les éleveurs ne sont pas prêts à accepter une inondation plus longue du bassin du Bell, compte tenu du fort développement des maladies parasitaires dans la région. Il est en effet difficile de contrôler l'abreuvement des bovins qui pâturent sans surveillance à proximité de la retenue de Diama, véritable réservoir de maladies hydriques. Même si les gastéropodes vecteurs de la bilharziose n'ont pour l'instant pas été observés dans le bassin du Bell, les éleveurs sont devenus très méfiants à l'égard de tout scénario incluant plusieurs mois consécutifs d'inondation. Un second conflit potentiel est apparu autour de l'inondation de contre-saison. Pour des raisons de mauvaise vidange du bassin, il a été difficile de maintenir cette inondation dans les lits mineurs des marigots. Cette situation s'est avérée satisfaisante pour les éleveurs, en raison de la fourniture de pâturages de soudure, mais pas pour les cueilleuses qui se sont trouvées confrontées à des difficultés d'accès aux zones de *Sporobolus robustus.* Par ailleurs, cette inondation de contre-saison alimente en eau douce le bassin de N'Tiallakh et est donc importante à la fois pour les gestionnaires du Parc (qui veulent restaurer les fonctions estuariennes du N'Tiallakh) et pour les éleveurs de la dune côtière (qui ont besoin de cette eau douce pour abreuver leurs animaux en saison sèche).

Définition de scénarios alternatifs

27 Pour alimenter le débat ou désamorcer les conflits potentiels, des scénarios alternatifs de gestion des eaux peuvent être proposés en jouant sur les paramètres d'espace, de temps ou bien sur la configuration des schémas hydrauliques. S'il existe un conflit entre différents utilisateurs d'un bassin avec une incompatibilité des usages qui ne puisse être résolu, on peut théoriquement imaginer de séparer spatialement les différentes activités. Ainsi, pour résoudre le conflit entre pêcheurs et éleveurs, le bassin du Bell pourrait être réservé à un usage halieutique tandis que le développement de pâturages de qualité serait favorisé dans le bassin du Diawling-Tichilitt. Une telle spécialisation des lieux comporte néanmoins le risque d'une certaine uniformisation végétale, car on sait que la réitération de plusieurs inondations à des cotes identiques favorise la prédominance de certaines espèces. Par ailleurs, un consensus entre acteurs est d'autant plus difficile que le découpage foncier traditionnel serait modifié et que d'anciens conflits pourraient alors resurgir. Pour résoudre ce conflit entre pêcheurs et éleveurs, une autre solution pourrait consister à programmer les scénarios hydrologiques à une échelle pluriannuelle en favorisant une alternance des schémas d'inondation d'une année à l'autre. Dans le bassin du Bell, on peut par exemple envisager d'alterner entre une année qui soit favorable aux éleveurs et aux cueilleuses, avec faible inondation au mois d'août, et une année qui soit favorable aux pêcheurs, avec inondation concernant des volumes d'eau plus importants dès le mois de juillet. Ce rythme permettrait en outre de recréer une variabilité interannuelle propre aux écosystèmes sahéliens. Dans le cas de l'inondation de contre-saison, il s'agit d'améliorer le temps de propagation des eaux douces vers le bassin du N'Tiallakh pour favoriser l'abreuvement des troupeaux en saison sèche et limiter l'effet des eaux hypersalées sur la mangrove. Un transit des eaux par le lac Diawling-Tichilitt est possible. Une telle inondation de contre-saison a été réalisée en 1999. Mais les temps de

propagation des eaux jusqu'à l'estuaire se sont avérés trop longs, notamment du fait de la faible ouverture de l'ouvrage de Cheyal (Lebourgeois, 1999). Néanmoins, le modèle hydraulique a prouvé la faisabilité de ce scénario et, afin d'éviter des modifications de la végétation du bassin de Bell, l'alternance annuelle des deux cheminements de l'inondation (Lemer – Bell – Ntiallakh et Cheyal – Tichilitt – Lekser – Ntiallakh) semble indiquée en attendant la réalisation du curage du marigot de Bell. Mieux encore, la construction d'un nouvel ouvrage permettrait l'alimentation directe de l'estuaire en contre-saison à partir de Diama à travers l'extrémité Nord-Est de la dune de Birette.

Conclusion

28 Dans le bas-delta mauritanien, la collaboration entre chercheurs, gestionnaires et populations locales s'est avérée efficace pour définir une gestion des eaux qui soit consensuelle mais aussi « ajustable », c'est-à-dire dont les schémas d'inondation sont renégociés à l'épreuve des faits. La modélisation hydraulique vient en appui à ce processus de concertation entre acteurs en permettant de définir des scénarios possibles d'inondation du bassin. Ce type de gestion de l'eau a été appliqué à l'échelle des petits bassins, mais il convient de tenir compte également des contraintes externes à ce système que peuvent constituer les décisions concernant la gestion du barrage de Diama, l'impact des nouveaux arrivants ou bien encore des pollutions des eaux en provenance du futur émissaire du delta programmé en rive gauche. Une telle gestion des eaux nécessiterait donc d'être conçue également à une échelle régionale, voire à l'échelle du bassin versant, ce qui pose des problèmes d'ordre institutionnel.

Remerciements

29 Les auteurs tiennent à remercier les personnes et les institutions qui ont permis la réalisation de ce travail. La modélisation hydraulique a été effectuée avec le logiciel Mike 11 du Danish hydraulic institute dans le cadre d'une thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur de Strasbourg (directeur de thèse Michel Mietton), avec le soutien financier de la Fondation internationale pour le Banc d'Arguin (FIBA) et du programme SEAH (Systèmes écologiques et actions de l'homme) et avec le concours des populations du delta mauritanien, de l'équipe du Parc national du Diawling, du bureau UICN en Mauritanie (conseiller technique : O. Hamerlynck), de l'équipe du programme Zones humides de l'UICN (chef de programme : Jean-Yves Pirot) et de l'équipe des travaux spéciaux de l'Institut géographique national (IGN).

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Barbier B., Acreman M., Knowler D., 1997 – *Evaluation économique des zones humides. Guide à l'usage des décideurs et planificateurs.* Bureau de la convention de Ramsar, 144 p.

Barry B.,1972 – *Le royaume du Waalo : le Sénégal avant la conquête.* Paris, Maspéro, 393 p.

Diagana C. H., 1997 – « Premières observations sur l'écologie du peuplement ichtyologique de la zone inondée et de l'estuaire du Parc national du Diawling (Mauritanie) ». *In* Colas F. (éd.) : *Environnement et littoral mauritanien,* actes colloque, Nouakchott, Mauritanie, 12-13 juin 1995, Cirad, Montpellier : 135-142.

Duvail S., Mietton M., Hamerlynck O., 1998 a – « L'après-barrage dans le delta mauritanien : scénarios de gestion des eaux et modèles de développement ». *In* Mainet G. (éd.) : *Iles et littoraux tropicaux,* actes des 7e Journées de Géographie tropicale, Presses académiques, Ouest-Editions, Bordeaux, tome II : 681-694.

Duvail S., Hamerlynck O., Ould Baba M. L, 1998 b – « Une alternative à la gestion des eaux du fleuve Sénégal ? ». *In : 2e conf. int. Zones humides et le développement,* Dakar, 8-14 novembre 1998.

Duvail S., Mietton M., Gourbesville P., 2001 – Gestion de l'eau et interactions société-nature : le cas du delta du Sénégal en rive mauritanienne. *NSS,* 9 (2) : 5-16.

Faucheux S., Hue C, 2000 – Politique environnementale et politique technologique : vers une prospective concertative. *NSS,* 8 (1-3) : 31-44.

Gannett Fleming Corddry & Carpenter Inc., Orgatec, 1980 – *Assesment of environmental effects of proposed developments in the Senegal River Basin.* Doc. OMVS, Dakar, 158 p.

Hamerlynck O., Ould Baba M. L., Duvail S., 1999 – The Diawling national park, Mauritania : joint management for the rehabilitation of a degraded coastal wetland. *Vida Silvestre Neotropical,* 7(1) : 59-70.

Laë R., 1994 – « Modifications des apports en eau et impact sur les captures de poisson ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 255-265.

Le Fur J., 2000 – « Modélisation de décisions en exploitation halieutique ». *In : Du bon usage des ressources renouvelables,* IRD, Coll. Latitudes 23 : 345-358.

Lebourgeois V., 1999 – *Eléments sur l'hydrologie du N'Tiallakh dans le cadre de la création d'un estuaire artificiel (bas-delta mauritanien du fleuve Sénégal, Mauritanie).* Mém. DESS, univ. Limoges, 32 p.

Lefeuvre J.-C, 2000 – « Structure des habitats et biodiversité ». *In* Fustec E., Lefeuvre J.-C. (éd.) : *Fonctions et valeurs des zones humides,* Dunod : 183-210.

Legay J. M., 2000 – Prévoir l'avenir ? *NSS,* 8 (1-3) : 3.

Lévêque C, Pavé A., Abbadie L., Weill A., Vivien F. D., 2000 – Les zones ateliers, des dispositifs pour la recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. *Natures, Sciences, Sociétés,* 8 (4) : 44-52.

Marchesin P., 1992 – *Tribus, ethnies et pouvoir en Mauritanie.* Karthala, Paris, 437 p.

Morand P., Bousquet F., 2000 – « Simulation de l'exploitation de ressources (fleuve Niger) ». *In* Gillon Y., Chaboud C, Boutrais J., Mullon C. (éd.) : *Du bon usage des ressources renouvelables,* IRD, Paris : 375-392.

Morel D., 1998 – *Eléments sur l'hydrologie et la végétation du Parc national du Diawling (1998).* Rapport de stage de l'Institut supérieur européen des métiers de l'environnement (ISEME), Fontenay-le-Comte, 33 p.

Coyne & Bellier, 1998 – *Etude complémentaire des endiguements du fleuve Sénégal. Première phase. Rapport d'inventaire – diagnostic.* Doc. OMVS, Dakar, Sénégal, 64 p.

Ould al-Barrâ Y., Ould Cheikh A. W., 1998 – Il faut qu'une terre soit ouverte ou fermée : du statut des biens fonciers collectifs dans la société maure. *Revue du Monde Musulman et de la Méditerranée,* série Histoire, 79-80 : 157-180.

Ould Baba M. L., Duvail S., Hamerlynck O., Semega B., 1998 – « Développement d'un modèle hydraulique pour la gestion du Parc national de Mauritanie ». *In : 2° conf. Internationale sur les Zones humides et le développement,* Dakar, Sénégal, 8-14 novembre 1998.

Ould Cheikh A. W., 1985 – *Nomadisme, islam et pouvoir politique dans la société maure précoloniale,* Thèse doct. Sociologie, Univ. Paris-V.

Ould Sehle D., 1999 – *Etude des pâturages du bas-delta mauritanien.* Mémoire DEA, univ. Dakar, 75 p.

Rouchier J., Requier-Desjardins M., 2000 – La modélisation comme soutien à l'interdisciplinarité en recherche-développement. Une application au pastoralisme soudano-sahélien. *NSS,* 8 (3) : 61-67.

UICN, PND, MDRE, 1997 – *Plan directeur d'aménagement du Parc national du Diawling et de sa zone périphérique, 1997-2001.* Doc. MDRE, Nouakchott, 63 p.

Vazart P.,1957 – *Étude humaine de la région de N'Diago.* Doc. Mission d'aménagement du Sénégal (MAS), Saint-Louis, Sénégal, 9 p.

NOTES

1. Hamerlynck O., Ould Messaoud B., Braund R., Diagana C. H., Diawara Y., Ngantou D., ce volume – « Crues artificielles et cogestion : la réhabilitation des plaines inondables au Sahel ». *In : partie 3.*

AUTEURS

STÉPHANIE DUVAIL

Géographe. Cereg, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg cedex, France, duvail@qeoqraphie.u-strasbq.fr

GER BERGKAMP

Hydrologue. UICN, Gestion des écosystèmes, 28 rue Mauverney, CH-1196 Gland, Suisse, gib@hq.uicn.org

MOHAMED LEMINE OULD BABA

Géographe. Bureau de liaison UICN-Mauritanie, BP 4167, Nouakchott, Mauritanie, ouldbaba@univ-nkc.mr

MIKE ACREMAN

Géographe. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK, m.acreman@ioh.ac.uk

OLIVIER HAMERLYNCK

Écologue. UICN, programme zones humides, 28 rue Mauverney, CH-1196 Gland, Suisse, miromao@hotmail.com

Application des méthodes de la dynamique des systèmes a la gestion intégrée des ressources en eau

Exemple du bassin versant du Mae Klong (Thaïlande)

Ekasit Kositsakulchai, Pierre Chevallier, François Molle, Patrick Le Goulven, François Valette, Eric Cadier et Alain Dezetter

1 Les ressources en eau continentale de la planète sont limitées et inégalement réparties. Les pays émergents ou en développement sont, plus encore que les pays industrialisés, confrontés à une demande d'usages multiples de cette ressource qui, d'une part, implique la mise en place de procédures réglementaires ou conventionnelles entre les usagers et, d'autre part, s'exprime de plus en plus en termes de valorisation économique (Bogardi, 1994 ; Kundzewicz, 1997). L'utilisation de la modélisation des systèmes complexes facilite l'approche de ces questions. Parmi les outils développés dans ce domaine, les méthodes de la dynamique des systèmes (de Rosnay, 1975 ; Forrester, 1981 ; Aracil, 1984) apportent des solutions particulièrement intéressantes et adaptées à la gestion des hydro-aménagements.

2 L'étude présentée ici est réalisée dans le cadre d'un programme mené en partenariat entre l'IRD et l'université Kasetsart de Bangkok (Doras Project, 1996). Elle concerne le bassin versant du Mae Klong (31 000 km^2) qui borde la façade centre-ouest du pays (fig. 1). Formé de deux rivières, la Khwae Yai (14 200 km^2) et la Khwae Noi (12 800 km^2) qui traversent une région de petites montagnes calcaires, le Mae Klong entre au niveau de la confluence dans la plaine de Bangkok où il est parallèle à deux autres fleuves importants, le Tha Chin et le Chao Phraya, ce dernier traversant l'agglomération urbaine de la capitale. Ces trois fleuves sont essentiels pour le développement agricole et économique de la Thaïlande et seul le Mae Klong offre encore une ressource excédentaire par rapport à la demande des usagers (Kositsakulchai, 1997 ; Kositsakulchai *et al.*, 1999).

Le bassin du Mae Klong

Ressources en eau et usages

3 Le bassin du Mae Klong se trouve dans une région de savane tropicale soumise à un climat de mousson dans lequel on distingue trois saisons : une saison humide de mai à octobre, une saison sèche et fraîche de novembre à janvier, et une saison sèche et chaude de février à avril (fig. 2). La distribution spatiale des précipitations offre un fort gradient spatial des reliefs du nord-ouest (plus de 4 000 mm annuel) vers les plaines proches de la mer au sud-est (un peu moins de 1 000 mm). Ces précipitations sont soumises à une assez grande variabilité interannuelle. Les écoulements de surface présentent une forte alternance avec 90 % du volume écoulé entre juin et novembre. Mais il faut compter aussi avec un important emmagasinement dans les nappes souterraines, tant dans les montagnes qui présentent des réservoirs karstiques que dans la plaine inondable de l'aval.

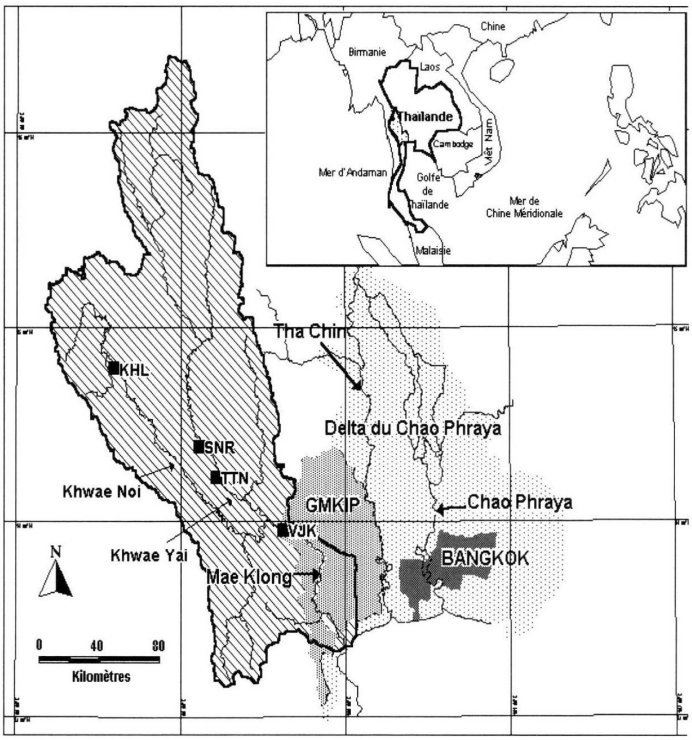


Figure 1. Bassin versant du Mae Klong et carte de situation. GMKIP : *Greater Mae Klong Irrigation Project* ; KHL : réservoir de Khao Leam ; SNR : réservoir de Srinagarind ; TTN : barrage régulateur de Tha Thung Na ; VJK : barrage de dérivation de Vajiralongkorn

4 On note cinq grandes catégories d'usages :

- *la production hydroélectrique* : deux grandes unités de production électrique sont installées sur les deux branches du fleuve dans la zone montagneuse : Khao Leam à l'Ouest et le complexe Srinararind/Tha Tung Na à l'Est (fig. 1) ; les retenues ont un volume total de 22 milliards de mètres cubes pour une puissance installée de 1,0 GW et une production moyenne annuelle de 1,7 TWh ;
- *l'irrigation* : un ouvrage de dérivation construit à Vajiralongkorn à l'entrée de la plaine d'irrigation permet d'irriguer une surface agricole supérieure à 300 000 ha dans le bassin du

Mae Klong (“Greater Mae Klong irrigation project”, fig. 1) et de détourner des débits vers le bassin voisin déficitaire du Tha Chin ;

- *l’alimentation en eau potable* : l’accroissement de la population et de la demande de la zone métropolitaine de Bangkok a pour conséquence une demande en eau potable toujours plus abondante à laquelle les bassins du Chao Phraya et du Ta Chin ne peuvent plus répondre ; il est prévu que les prélèvements sur le Mae Klong augmentent progressivement dans les 12 prochaines années pour passer d’environ 5 $m^3 s^{-1}$ à 45 $m^3 s^{-1}$;
- *la protection contre les intrusions salines marines* : la région toute proche de la mer est la région économiquement la plus riche du bassin du Mae Klong. Equipée dès le début du 20e siècle d’un réseau d’irrigation dense, il s’y est développé une riche agriculture de vergers et de maraîchage qu’on ne peut préserver qu’en maintenant un débit réservé dans le fleuve d’environ 50 $m^3 s^{-1}$ afin d’empêcher les intrusions d’eau de mer ;
- *le tourisme et la préservation environnementale* : enfin le bassin du Mae Klong renferme un certain nombre d’attractions touristiques et fait l’objet d’opérations de tourisme écologique qui perdraient beaucoup de leur intérêt si on ne préservait pas la ressource en eau.

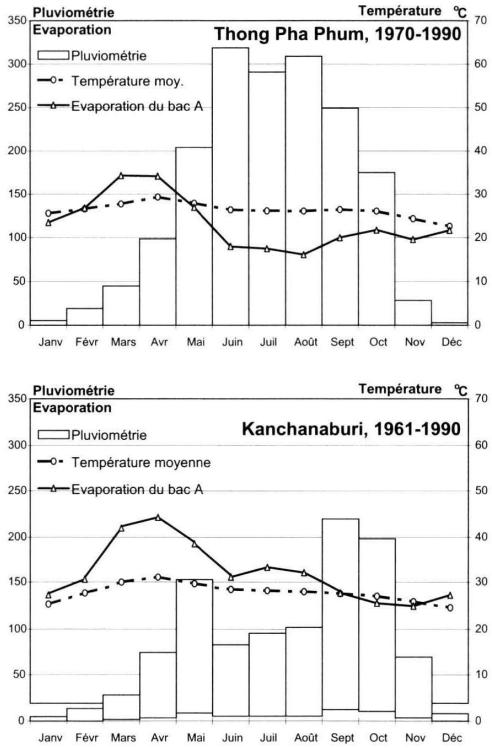


Figure 2. Moyennes mensuelles de la pluviométrie, de la température et de l’évaporation à deux stations météorologiques du bassin versant du Mae Klong.

5 Ainsi les ressources en eau du Mae Klong comme celles de tous les cours d’eau de Thaïlande sont largement exploitées. Par exemple, au niveau du barrage de dérivation de Vajiralongkorn (noté VJK sur la carte de la figure 1), le débit réservé est de 50 $m^3 s^{-1}$, et il y a compétition toute l’année entre les lâchures turbinées (pour la production hydroélectrique) et les besoins des usages agricoles. La distribution mensuelle des usages de l’eau arrivant au barrage montre que la marge de manœuvre est particulièrement faible en début d’année. Or la demande pour l’alimentation en eau potable est encore négligeable sur la période considérée, mais deviendra vite une contrainte importante dans les années à venir.

L'interaction entre les opérateurs

6 Pour répondre à ces différentes demandes, plusieurs opérateurs interviennent, avec des intérêts parfois divergents. On peut y différencier deux sous-systèmes : un système d'énergie où l'Egat (*Agence nationale de production d'électricité de Thaïlande*) joue le rôle central et un système d'eau piloté par le RID (*Département royal de l'irrigation*) et par les agences provinciales et métropolitaine de l'eau potable (fig. 3).

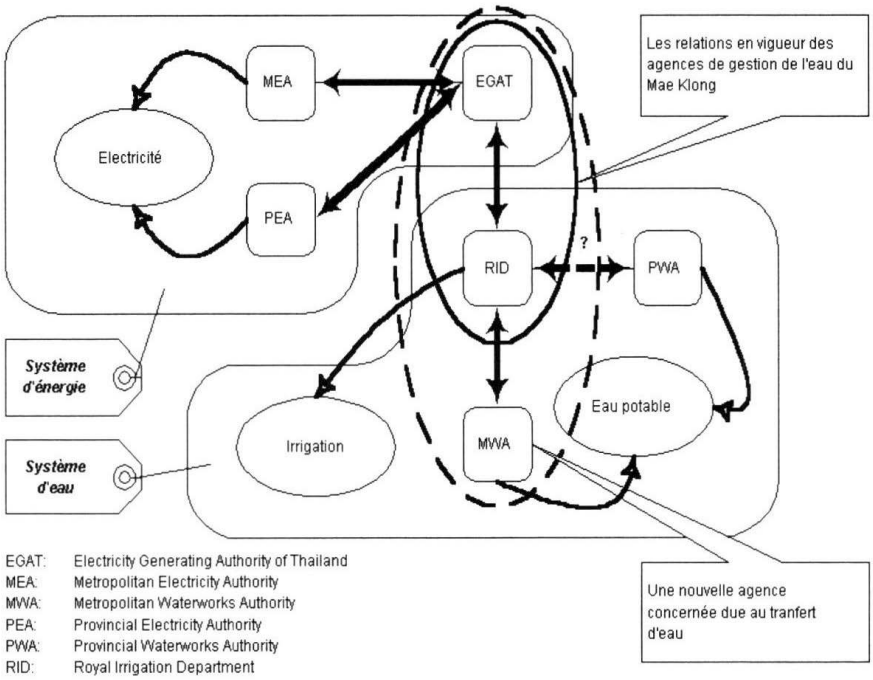


Figure 3. Les principaux opérateurs des systèmes d'eau et d'énergie dans le bassin du Mae Klong.

7 La principale question que ces diverses agences doivent résoudre mutuellement, est de minimiser les conflits qui pourraient résulter de désaccords sur la distribution de la ressource en eau en tenant compte du facteur économique.

8 Il s'agit à la fois de contrôler les retenues d'eau et les lâchers des barrages pour satisfaire une production électrique tout au long de l'année et d'assurer l'irrigation des cultures dans les périmètres irrigués, plus particulièrement au cours de la saison sèche. L'ensemble de ces opérations doit tenir compte des contraintes de débits réservés et d'une préfiguration de l'augmentation des prélèvements pour l'alimentation en eau potable de Bangkok.

9 Cependant, on note déjà que l'agriculture est devenue largement prioritaire sur la production électrique dans le bassin déficitaire en eau du Chao Phraya, où la marge de manœuvre d'Egat est dès maintenant pratiquement nulle.

Modélisation pour la gestion intégrée des ressources en eau

10 Le cadre de modélisation qui émerge de cet ensemble complexe doit être abordé en deux étapes successives : d'abord, l'évaluation de la ressource en eau de surface disponible,

puis le schéma de gestion de cette ressource en fonction de la demande des divers opérateurs intervenant sur le bassin.

Ressource en eau de surface

11 La ressource en eau de surface dépend à la fois de l'aléa climatique (principalement des précipitations) et de la nature du milieu récepteur. Les données disponibles sur le bassin versant du Mae Klong sont assez sommaires (très peu de postes d'observation compte-tenu de la surface).

12 Aussi c'est sur un modèle pluie-débit simple et robuste que le choix s'est porté : une version adaptée au pas de temps hebdomadaire du modèle GR3 développé par le Cemagref (Edijatno et Michel, 1989 ; Edijatno *et al.*, 1999). Le modèle original journalier porte le nom de GR3J ; par analogie, nous avons appelé la version modifiée hebdomadaire GR3S.

13 Pour mieux tenir compte des données disponibles (postes pluviométriques et stations hydrométriques de contrôle) et des caractéristiques particulières de chaque zone, le modèle a été calé sur six sous-bassins du bassin principal du Mae Klong et les débits résultants, étendus par extrapolation aux dix sous bassins couvrant la totalité de la zone étudiée, ont été combinés entre eux (fig. 4).

14 Pour être cohérent avec la plateforme de modélisation adoptée dans la suite, le modèle a été réécrit dans l'environnement Vensim® utilisant la dynamique des systèmes. Au regard de la qualité des données de base, on peut considérer que le résultat obtenu après calage est satisfaisant (fig. 5).

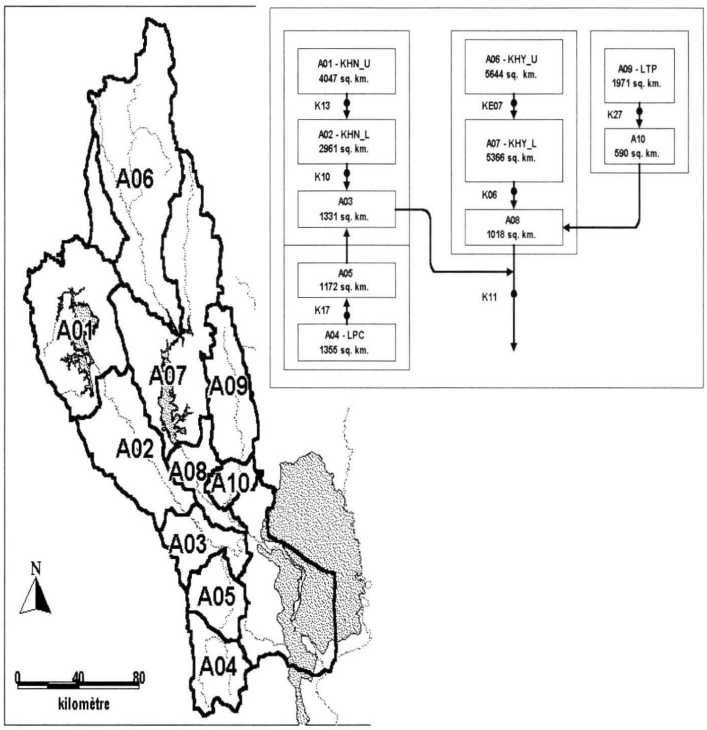


Figure 4. Découpage en sous-bassins du bassin versant du Mae Klong pour l'application du modèle global GR3S.

Modèle de gestion d'un système aménagé

15 Pour représenter l'ensemble des flux dans l'hydrosystème aménagé du bassin du Mae Klong, les outils offerts par les méthodes de la dynamique des systèmes sont particulièrement intéressants (Graham *et al.*, 1986 ; Lee, 1993). La plateforme du logiciel commercial Vensim® (Ventana Systems, 1997) a été utilisée.

16 La figure 5 montre un exemple de représentation simplifiée dans le grapheur proposé par le logiciel.

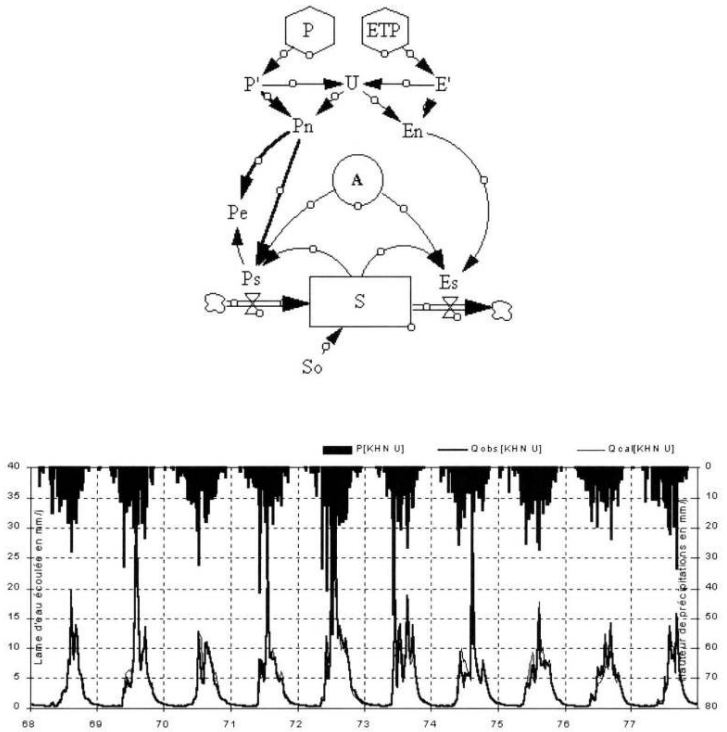


Figure 5. Représentation graphique dans le schéma Vensim® et résultats sur le bassin de la retenue de Khao Leam : comparaison débits observés / débits calculés sur la période 1968-1977.

17 La représentation complète d'un système tel que le Mae Klong est complexe : elle a fait l'objet d'une thèse de doctorat (Kositsakulchai, 2001). Cette représentation rassemble et fait varier au cours du temps, d'une part, l'ensemble des flux d'eau de surface qui dépendent des conditions climatiques et sont contraints par les différents aménagements et, d'autre part, un certain nombre de règles de décisions, telles qu'elles sont pratiquées dans les planifications opérationnelles des principaux opérateurs (Egat et Rid). Le pas de temps de la semaine a été choisi comme étant celui qui correspond à la planification la plus fine des opérateurs électriques et agricoles.

Exemple de simulation

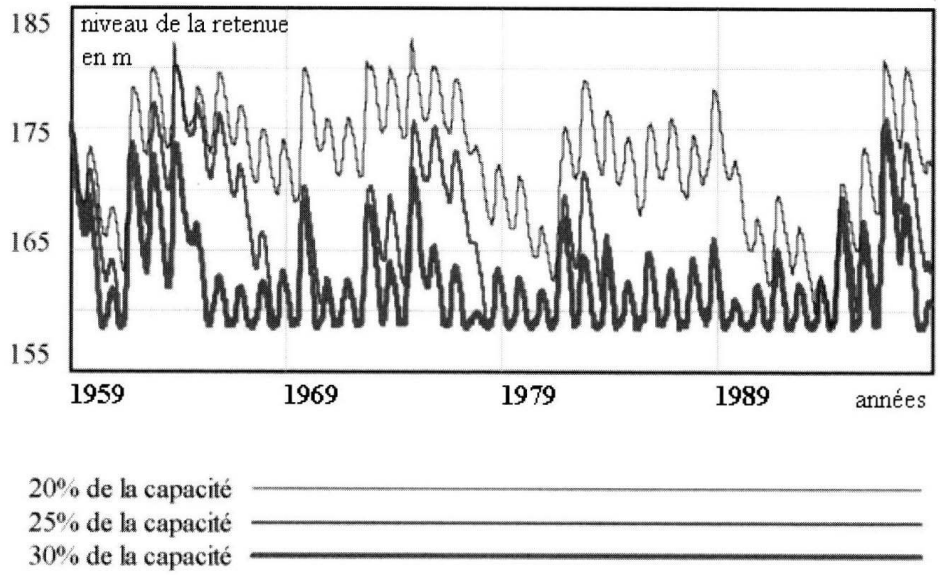
18 A titre d'exemple, et parmi les très nombreuses possibilités offertes par un tel outil, la figure 6 propose le résultat d'une simulation choisie pour optimiser la gestion de la retenue de Srinagarind (voir fig. 1) sous certaines conditions, en montrant les conséquences que cela peut avoir sur la demande agricole dans les périmètres irrigués à

l'aval. Les données utilisées pour le forçage climatique correspondent à la période 1959-1998.

19 Si l'opérateur utilise la retenue en se limitant à une production électrique moyenne sur l'année correspondant à 20 % de la capacité installée de l'usine hydroélectrique, le niveau de l'eau ne passe jamais en dessous de la cote critique de 159 m et on peut considérer que la satisfaction des besoins agricoles est toujours garantie. Si l'opérateur force un peu plus la production en imposant une production électrique égale à 30 % de la capacité de l'usine tout en faisant en sorte que le niveau de la retenue reste encore au-dessus de la cote critique de 159 m, on s'aperçoit qu'avec le temps le taux de satisfaction de la demande agricole se stabilise autour de 80 %.

20 Le décideur peut ensuite traduire ces simulations en coût économique en faisant, par exemple, la part des apports liés à la vente d'électricité et celle du manque à gagner qui résulte d'une limitation de la production agricole. Dans la réalité, l'analyse devrait également tenir compte des pressions politiques et culturelles, locales, régionales et nationales.

Remplissage de la retenue de Srinagarind



Satisfaction de la demande à l'aval du bassin

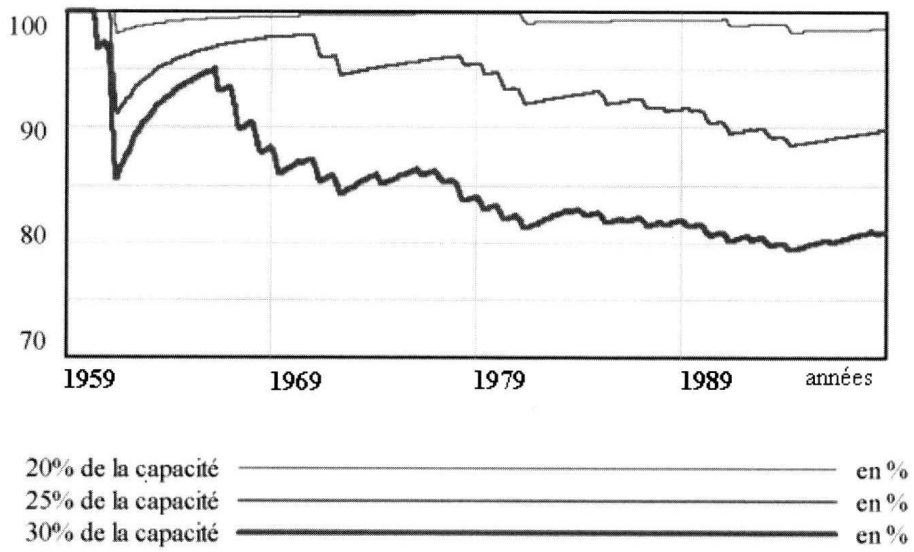


Figure 6. Remplissage de la retenue de Srinagarind sous diverses options de production électrique et satisfaction de la demande agricole sous les mêmes hypothèses (calculs effectués sur la base des précipitations de la période 1959-1998).

Conclusion

21 Cette présentation brève de quelques résultats d'un travail plus important vise surtout à mettre en évidence les avancées suivantes :

- la modélisation de la ressource en eau de surface avec un modèle pluie-débit semi-global est satisfaisante au pas de temps hebdomadaire ;
- le modèle de gestion développé a su prendre en compte les différentes contraintes dues à la fois aux modes opérationnels des aménagements, mais aussi aux réglementations et aux impératifs économiques ;
- les méthodes de la dynamique des systèmes (en l'occurrence ici le langage Vensim®) sont bien adaptées à la résolution de ce type de problème et offrent une remarquable souplesse d'exécution permettant de faire évoluer l'instrument de modélisation pour résoudre de nouvelles questions.

22 Il faut cependant noter que le produit développé n'est pas encore un système d'aide à la décision destiné à un usage opérationnel, mais plutôt un outil de recherche destiné à tester différents scénarios de développement.

23 Néanmoins, on peut penser qu'un outil de gestion dérivé de la réflexion conduite par les scientifiques pourrait être mis en œuvre auprès des opérateurs de l'eau pour les aider à optimiser les interactions entre le « système énergétique » (production électrique) et le « système eau » (irrigation, alimentation en eau potable), tout en respectant des contraintes réglementaires de débits réservés à des fins économiques, environnementales ou touristiques.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Aracil J., 1984 – *Introduction à la dynamique des systèmes.* Lyon, Presses Universitaires de Lyon, coll. Science des systèmes, 414 p.

Bogardi J. J., 1994 – "The concept of integrated water resources management as a decision making problem". *In* Bogardi J. J., Nachtnebel H. P. (éd.) : *Multicriteria decision analysis in water resources management,* Unesco, Paris, International hydrological programme (PHI) : 9-22.

Doras project, 1996 – *Agricultural and irrigation patterns in the Central plain of Thailand : preliminary analysis and prospects for agricultural development.* Bangkok, 224 p.

Edijatno, Oliveira Nascimento N. (de), Yang X., Makhlouf Z., Michel C, 1999 – GR3J : a daily watershed model with three free parameters. *Hydrological Sciences Journal,* 44 (2) : 263-277.

Edijatno, Michel C, 1989 – Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche,* (2) : 113-121.

Forrester J. W., 1968 – *Principles of Systems.* Cambridge, Massachusetts, Whright-Allen Press Inc., coll. Text and Workbook, chapters 1 through 10.

Graham L. P., Labadie J. W., Hutchinson I. P. G., Ferguson K. A., 1986 – Allocation of augmented water supply under a priority water rights System. *Water Resources Research,* 22 (7) : 1083-1094.

Kositsakulchai E., 1997 – *Diagnostic de l'allocation de la ressource en eau au niveau du bassin du Mae Klong, Thaïlande : analyse et modélisation.* Mémoire DEA, ENGREF, 133 p.

Kositsakulchai E., 2001 – *Modélisation intégrée de l'hydrosystème du Mae Klong -Thaïlande.* Thèse doct., Sciences, univ. Montpellier-ll.

Kositsakulchai E., Kumnuansilp U., Molle F., Chevallier P., 1999 – Analysis of water and power management of the Mae Klong River basin. A regional management analysis within a national scope. *Engineering Journal Kasetsart,* 37 (13) : 67-85.

Kundzewicz Z., 1997 – Water resources for sustainable development. *Hydrological Sciences Journal,* 42 (4) : 467-480.

Lee J., 1993 – A formal approach to hydrological model conceptualization. *Hydrological Sciences Journal,* 38 (5) : 391-401.

Rosnay J. (de), 1975 – *Le macroscope. Vers une vision globale.* Paris, Le Seuil, coll. Points Essais, 80, 315 p.

Ventana Systems Inc., 1997 – *Vensim - Ventana simulation environment.* Belmont, Massachusetts, Ventana.

AUTEURS

EKASIT KOSITSAKULCHAI

Hydrologue. Doras Center, Kasetsart University, Bangkok, 10900 Thailand

PIERRE CHEVALLIER

Hydrologue. Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, pierre.chevallier@mpl.ird.fr

FRANÇOIS MOLLE

Hydro-agronome. Doras Center, Kasetsart University, Administrative building 10th floor, 10900 Bangkok, Thailand, odoras@nontri.ku.ac.th

PATRICK LE GOULVEN

Hydrologue. Maison des Sciences de l'Eau, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France, Patrick.LeGoulven@mpl.ird.fr

FRANÇOIS VALETTE

Modélisateur. CNRS, Université Montpellier II, 34095 Montpellier, France

ERIC CADIER

Hydrologue

ALAIN DEZETTER

Hydrologue

Architecture d'infothèque pour le partage et la diffusion de résultats de recherche

L'exemple de la communauté scientifique autour du delta intérieur du Niger

Patricia Dzéakou, Pierre Morand, Christian Mullon, Yveline Poncet et Jean-Claude Derniame

1 Pour les organisations qui accumulent de façon continue des informations sur les relations entre l'homme et son environnement, la possibilité de partager et de diffuser de nombreux documents (articles, rapports, photos, graphiques, statistiques, etc.) constitue une nécessité de premier ordre. A cet égard, la construction d'une infothèque – jouant à la fois le rôle de mémoire et de bibliothèque – peut fournir une solution organisationnelle et opérationnelle durable (Dieng *et al.*, 2000). Les enjeux en sont multiples. En amont, il s'agit de diminuer la rétention d'information, d'accélérer la diffusion des documents et de permettre un partage des connaissances. En aval, il s'agit de rendre accessibles les documents de manière intelligible pour les utilisateurs. Cependant, la diversité des documents, la nature non exhaustive des contenus et l'ambiguïté du circuit de l'information dans le domaine socio-environnemental font des infothèques qui leur sont dédiées des systèmes aux contours souvent flous pour l'utilisateur. C'est pourquoi un défi majeur dans la construction de tels systèmes va être de parvenir à une performance satisfaisante en termes de lisibilité. Il s'agira notamment de résoudre les problèmes de perte d'orientation lors de la recherche de documents ou bien, plus généralement, lors du maniement des fonctionnalités d'exploration.

2 Dans cet article, nous proposons une interface utilisateur pour une infothèque dédiée au partage et à la diffusion de ressources documentaires. Nous nous intéressons particulièrement à une communauté caractérisée par une grande hétérogénéité des profils d'utilisateurs.

Contexte, justification et spécification

La problématique de la gestion de l'information dans un observatoire

3 Les observatoires sont des organisations pérennes dédiées au suivi à long terme d'un phénomène (exemple : la désertification) ou d'un secteur de l'environnement et/ou de la société (exemple : la pêche), à des fins d'accumulation, de partage des connaissances et de gestion (Mullon et Piron, 1998). Les observatoires doivent recourir à des procédures et à des outils adaptés pour assurer de façon continue, fiable et fluide la collecte, l'archivage et la circulation de l'information concernant le sus-dit phénomène ou secteur. Atteindre une telle qualité dans la gestion de l'information n'est cependant pas chose aisée. En effet, le contexte géographique, technique et institutionnel de mise en place et de fonctionnement d'un observatoire recèle de nombreux obstacles à la mise en place d'une gestion performante de l'information. Ces obstacles sont en grande partie liés à l'hétérogénéité qui caractérise tant les intervenants que les types d'informations manipulées ou encore les modes et rythmes de travail. Nous décrivons ci-après, et de façon plus détaillée, les composantes de cette « muti-hétérogénéité » qui nous semble constitutive de tout observatoire. Il s'agit tout d'abord de l'hétérogénéité et de la multiplicité des intervenants, qui peut elle-même être déclinée en trois termes :

- la multi-localisation, qui désigne le fait que les nombreuses personnes ou services qui travaillent à collecter, traiter et produire de l'information peuvent être assez éloignés les uns des autres, avec tout ce que cela implique comme déficit de coordination, retard dans la communication, décalage de rythmes de travail ;
- la diversité des compétences, notamment dans la capacité à produire de l'information, mais aussi dans la capacité à appréhender l'information produite par les autres intervenants ;
- la diversité des statuts et notamment des droits d'accès, d'utilisation, de manipulation et de publication de l'information.

4 Il s'agit ensuite de la grande variété des modes et rythmes de collecte et de production de l'information, avec souvent un « noyau dur » d'information produit en régime systématique et récurrent (*e.g.* des enquêtes périodiques aboutissant après traitement à des résultats statistiques figurant dans un bulletin), mais aussi des informations stables ou peu évolutives (*e.g.* les nomenclatures adoptées par convention entre partenaires, les protocoles de collecte des données), ou bien encore des informations correspondant à des apports ponctuels à date non programmée (*e.g.* un rapport de réunion ou bien encore une image particulièrement intéressante issue de l'application d'un traitement expérimental sur une image satellitale).

5 Enfin, il s'agit de la variété des types ou formats de l'information manipulée, qui peuvent aller de tables de données à des textes en passant par des images, des graphiques, des codes de procédures informatiques, etc., d'autant que les documents sont souvent un assemblage de « briques » relevant de différents formats (*e.g.* un document associant texte, photos, graphiques et tableaux).

L'exemple des travaux scientifiques sur le delta intérieur du Niger

6 Même s'ils ne se sont pas déroulés dans un véritable contexte institutionnel d'« observatoire », les travaux menés durant ces dernières années sur le delta intérieur du Niger par les équipes de recherche de l'IRD et de l'IER (*Institut d'économie rurale,* Mali) fournissent un cas assez proche, sur le plan technique, d'une situation d'observatoire. S'y trouvent en effet réunies des caractéristiques telles que la diversité des modes de travail et des types d'information, ou bien encore la forte variété des usages de l'information produite. De plus, ces travaux ont pour ambition de contribuer à poser les bases scientifiques d'un projet d'observatoire bien réel – projet qui verra sans doute le jour dans le cadre de la création prochaine d'une agence gouvernementale du fleuve Niger. C'est pourquoi le cas du delta intérieur du Niger (DIN) et de l'information scientifique qui a été produite à son propos durant la dernière décennie fournit un « matériel de base » intéressant pour cette présente recherche générique sur les systèmes de gestion de l'information environnementale.

Contexte cognitif et problématique sémantique de l'information scientifique sur l'environnement du DIN

7 Les données et informations collectées et produites sur le DIN durant ces dernières années sont le fait de plusieurs équipes et services composés de chercheurs et d'ingénieurs de formations variées (hydrologues, agronomes, halieutes, géographes, sociologues, météorologues...). Une telle situation de pluri-disciplinarité favorise bien sûr la multiplication des concepts, enrichissant du même coup la terminologie de travail des uns et des autres. Cette variété (voire cette instabilité) des schémas cognitifs au sein d'une communauté impliquée dans l'alimentation d'un système d'information entraîne des difficultés pour mettre en place un langage commun. En conséquence, il est particulièrement difficile dans une telle situation d'établir un modèle harmonisé et unique de description de documents.

Dispositifs techniques pour la gestion de l'information du DIN : un survol de l'existant

8 Sans disposer du recul qui est aujourd'hui le nôtre, mais confrontés au besoin urgent de stocker, de traiter et de restituer l'information, les chercheurs, équipes et services techniques en charge de l'information scientifique et environnementale sur le DIN ont adopté au fil du temps des solutions ou des filières variées. Nous en donnons ci-dessous trois exemples très représentatifs :

- publication différée sous forme de CDrom : des saisies, stockages et traitements concernant un thème sont concentrés sur une machine unique et sous le contrôle d'une seule personne ; seul le résultat final, c'est-à-dire la publication (généralement constituée d'un gros document composite avec texte, graphiques, figures...), est envoyé sur le réseau où il va rejoindre les archives de l'équipe, devenant alors accessible en forme figée ; avant cette publication, qui peut être très tardive, l'opacité est totale sur la nature et le contenu des informations stockées sur la dite machine et sur le thème en question ;
- diffusion d'une bibliothèque personnelle : une personne fait don au réseau, un jour donné, de tout un stock d'informations accumulées en vrac ; l'information (par exemple une

collection de photos) devient alors théoriquement accessible sur un répertoire d'une machine que l'on supposera connectée ; pour autant, elle n'est pas toujours facile à retrouver ;

- chaîne de traitement permanente et semi-automatisée : un groupe de chercheurs, souvent associé à des ingénieurs des services techniques, organise un flux régulier d'information concernant un thème, allant de la saisie des données à leur traitement et à leur diffusion ; plusieurs machines sont impliquées dans ce flux. Un certain nombre de personnes doivent intervenir de façon régulière et coordonnée pour maintenir ce flux. Ce type de solution est illustré par le dispositif expérimental d'observatoire de la pêche au Mali (Morand *et al.*, ce volume[1]).

9 La coexistence de ces différentes solutions plus ou moins élaborées aboutit, de façon patente, à une situation mêlant des solutions techniquement très hétérogènes. Il s'ensuit de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit de rassembler ces informations, de les rapprocher et de les ré-utiliser. Nous notons cependant que cette hétérogénéité, bien que ne résultant pas d'un choix positif et délibéré, traduit une sorte de diversité « légitime » de l'histoire et des objectifs des équipes et des services fournisseurs de données et d'informations. Et que, par conséquent, cette hétérogénéité se retrouve, peu ou prou, comme situation « de départ » chaque fois que l'on envisage de créer un observatoire quelque part. Il reste donc à imaginer un système qui, admettant la réalité d'une telle situation et s'appuyant sur des solutions techniques robustes, permette à un grand nombre d'utilisateurs d'accéder sans délai aux informations issues de chacune de ces solutions ou filières et de les réutiliser.

Des insuffisances de l'existant à la définition d'une solution adaptée

10 La problématique à laquelle sont confrontées les équipes travaillant sur le DIN peut être résumée de la façon suivante : une communauté de personnes aux profils diversifiés produit et/ou collecte régulièrement des documents qui sont de nature et de formats variés (textes, graphiques, photographies, séquences vidéo). Le besoin formulé par cette communauté est celui de pouvoir disposer d'un système adapté lui permettant de disposer de lieux d'accumulation et de stockage d'informations, de partager des connaissances (ce partage doit se traduire par la possibilité d'échanger des informations, de partager les mêmes structures de communication et les mêmes contenus informatifs), et de faciliter l'accès à un ensemble de documents étant donné l'hétérogénéité des sources d'informations et la diversité des profils scientifiques des membres.

11 Par rapport à ces besoins, deux constats majeurs montrent l'insuffisance des solutions habituelles. Nous allons les énoncer brièvement ci-après.

Les limites des solutions fortement orientées vers la publication

12 Les solutions basées sur la publication d'un CDrom ne résolvent pas le problème de l'extensibilité permanente, qui est central dans une optique de capitalisation de l'information (Dieng *et al.*, *ibid*). Quant aux solutions telles que la mise en accès libre de bibliothèques personnelles ou bien la construction de sites web régulièrement mis à jour par des administrateurs, elles peuvent poser à long terme des problèmes de ressources humaines et de maintenance. En fait, aucune de ces solutions ne satisfait simultanément les besoins de capitalisation, de partage et de diffusion exprimés ci-dessus.

L'inadaptation des interfaces de recherche classiques

13 Dans une organisation de type « observatoire », l'utilisation d'une solution de recherche d'information basée sur une indexation intégrale des documents (Leloup, 1997) et sur une interface utilisateur de type formulaire de recherche par mots clés n'est pas adaptée. En effet, le caractère multimédia des documents ne permet pas une telle indexation. Et quand bien même chaque document disposerait d'une notice descriptive textuelle, l'obtention d'un résultat pertinent nécessiterait de nombreuses tentatives de requêtes infructueuses. Car l'hétérogénéité des documents et la diversité des profils des utilisateurs font que l'utilisateur ne connaît pas toujours les mots clés appropriés pouvant le mener à un résultat pertinent. Ceci provient notamment de l'hétérogénéité des profils d'utilisateurs qui complique l'obtention d'un consensus sémantique, induisant du même coup une difficulté à mettre en place un modèle de métadonnées efficace (Dzeakou *et al.*, 1998). Enfin, le caractère évolutif des besoins des utilisateurs et la nécessité de prendre en compte les spécificités du milieu étudié ne permettent pas de recourir aux modèles « universels » de métadonnées (Stuart, 1999) tel que celui proposé par le FGDC, organisme gouvernemental qui établit la politique de diffusion des données spatialisées aux États-Unis.

Exigences et contraintes sur la définition de l'outil souhaité

14 L'outil à concevoir doit être intégré à l'univers de l'équipe travaillant dans le cadre d'un observatoire. Il ne doit pas être uniquement tourné vers la publication, mais doit d'abord être consacré au partage et à la diffusion de l'information au sein d'une équipe. La nécessité de capitaliser se justifie par la permanence et la durée de vie – longue – des observatoires qui exige un dispositif de stockage des informations produites. Il doit s'agir d'un lieu connu de toute l'équipe et qui doit servir à terme d'archive.

15 Le partage et la diffusion de l'information produite sont des processus essentiels dans tout travail en équipe et ils le sont encore davantage dans une équipe fonctionnant en régime d'observatoire, où les rythmes de production induisent souvent un renouvellement fréquent de l'information. Du fait des contraintes imposées par le caractère diversifié et évolutif des profils des utilisateurs, le système proposé doit être adaptable et évolutif (Dzeakou *et al.*, *ibid.*). Pour le rapprocher des utilisateurs et en faire un outil de travail, nous allons proposer ci-après une solution d'interaction basée sur une exploration ergonomique et intuitive des ressources documentaires.

Vers un nouvel outil

L'interface d'accès aux documents

16 Contrairement aux systèmes où l'utilisateur doit avoir une bonne connaissance de ce qu'il recherche et du fonctionnement du moteur de recherche, l'interface de recherche proposée guide l'utilisateur dans le processus d'exploration de l'infothèque. Cette interface repose sur l'exploitation de descriptifs. Un descriptif est un petit texte fourni par l'utilisateur qui a intégré le document dans l'infothèque et dans lequel est décrit brièvement le contenu du document. L'interface proposée permet une exploration progressive qui met l'accent sur la lisibilité du système d'information et guide l'utilisateur

lors de la recherche. Dans les interfaces de recherche classiques, les requêtes ne sont pas persistantes. L'utilisateur n'a pas de mémoire des explorations déjà effectuées. Dans une interface de recherche basée sur un processus d'exploration progressif, l'utilisateur est guidé par un ensemble de vues qu'il utilise pour affiner progressivement la collection de documents. Une telle interface va s'appuyer principalement sur les notions de session d'exploration, de portefeuille et de processus d'exploration progressif.

17 Le *concept de portefeuille* est essentiel, car il est au centre de la stratégie d'exploration. Un portefeuille représente un ensemble de ressources. Il est persistant et réutilisable. C'est un conteneur de ressources qui évolue dynamiquement. Si on considère que chaque document possède dans le système un identifiant unique, un portefeuille *P* peut être schématisé de la manière suivante :

18 $P=(D_1 D_2, ..., D_p)$

19 où $D_1 D_2...,D_p$ sont les identifiants des documents que comporte le portefeuille *P*.

20 Un portefeuille peut être construit à partir d'un autre portefeuille sur lequel est appliqué un filtre (sélection de documents) :

21 $P_2=F(P_1)$, où F est un filtre.

22 Une session d'exploration est la durée pendant laquelle l'utilisateur est connecté à l'outil d'exploration – de la connexion à la déconnexion (qu'elle soit normale ou anormale). Une session d'exploration peut être démarrée (*i.e.* active), suspendue (*i.e.* existante mais inactive) ou terminée (*i.e.* inexistante).

23 Le processus d'exploration progressif est mis en œuvre d'une part à travers les fonctionnalités d'ouverture et de fermeture d'une session d'exploration et d'autre part à travers celles de la construction d'un nouveau portefeuille et celles du partage d'information. Au début d'une session, l'utilisateur dispose d'un portefeuille initial qu'il constitue en choisissant un portefeuille parmi ceux qui lui appartiennent (ceux de son entrepôt privé) ou ceux stockés dans un espace de stockage partagé par tous les utilisateurs (entrepôt publique). Il a également la possibilité de constituer un portefeuille initial en fusionnant plusieurs portefeuilles. Il se sert ensuite de *vues* pour construire un nouveau portefeuille. Les vues sont des interfaces qui offrent des outils pour affiner (par sélection) ou enrichir (par des opérations ensemblistes) un portefeuille de documents au cours d'une activité d'exploration. Un portefeuille ainsi construit peut être sauvegardé dans un entrepôt commun à tous ou dans l'entrepôt privé de l'utilisateur.

Session d'exploration

24 La plate-forme doit supporter des processus d'exploration qui vont au-delà d'une session de travail. Par conséquent, un processus doit pouvoir être initialisé, suspendu et repris. L'initialisation d'une activité d'exploration marque le début de mémorisation des actions effectuées sur le portefeuille en cours (contexte d'exploration). La suspension d'une activité d'exploration engendre la sauvegarde dans une mémoire persistante de ce contexte. La reprise d'une activité d'exploration d'un utilisateur marque le fait que le contexte sauvegardé pour cet utilisateur redevient le contexte en cours de son activité d'exploration.

Construction d'un portefeuille

25 Dans cette partie sont décrits les moyens de construire un nouveau portefeuille à partir d'un ou de plusieurs portefeuilles : les filtres fournis par des vues sémantiques et les opérateurs ensemblistes. Nous allons montrer notamment comment exploiter l'historique des opérations effectuées par l'utilisateur au cours d'une session d'exploration, et comment retourner à un portefeuille antérieur. Enfin, une vue schématique du processus d'exploration progressif termine cette partie.

Les vues sémantiques : des médiateurs pour l'exploration

26 L'idée qui est à la base de la notion de vue est celle d'un guide qui par sa sémantique facilite l'exploration et instruit l'utilisateur. Une vue regroupe des moyens de recherche attachés à une sémantique particulière et symbolise par conséquent un axe de recherche. Trois modèles de vues ont été définis qui correspondent respectivement aux axes de recherche géographique, temporel et taxonomique. Chaque modèle de vue est défini par :

- des filtres qui sont des types de requêtes prédéfinis. Ces fonctions de sélection spécifiques permettent d'affiner le portefeuille en cours. Lorsqu'une fonction de sélection est appliquée au portefeuille en cours, un nouveau portefeuille est construit. Par exemple, pour les vues de type géographique, il y a des filtres destinés à construire un nouveau portefeuille contenant les documents qui correspondent à une zone ou à un lieu. Pour les vues de type taxonomique, des filtres permettent de sélectionner dans le portefeuille en cours les documents qui correspondent à un taxon. Pour les vues de type temporel, des filtres permettent de sélectionner des documents en fonction de critères tels que le jour, l'année, la saison ;
- un type d'interface utilisateur composée d'une carte de navigation, un historique des opérations effectuées et le contenu du portefeuille en cours. Chaque modèle de vue possède une carte de navigation spécifique. Pour le modèle taxonomique, la carte de navigation est une taxonomie ; pour le modèle géographique, c'est une carte qui exhibe des zones ou des lieux ; pour le modèle temporel, la carte de navigation permet de sélectionner des années ou des saisons ;
- une base de données de paramètres de recherche qui, selon le modèle de vue, permet de stocker une taxonomie, les coordonnées d'un ensemble de zones ou de lieux dans une carte (image affichée dans la carte de navigation), une liste de saisons.

27 La création d'une vue nécessite le choix d'un modèle de vue (dont la définition est stockée dans une base de données) et l'alimentation de la base de données de paramètres de recherche. Par sa sémantique, l'interface graphique (fig. 1) guide l'utilisateur lors de l'exploration. Le recours à des métaphores graphiques, notamment pour limiter les problèmes de perte d'orientation rencontrés par les utilisateurs lors de parcours d'hypertextes (Kim et Hirtle, 1995), paraît une solution intéressante.

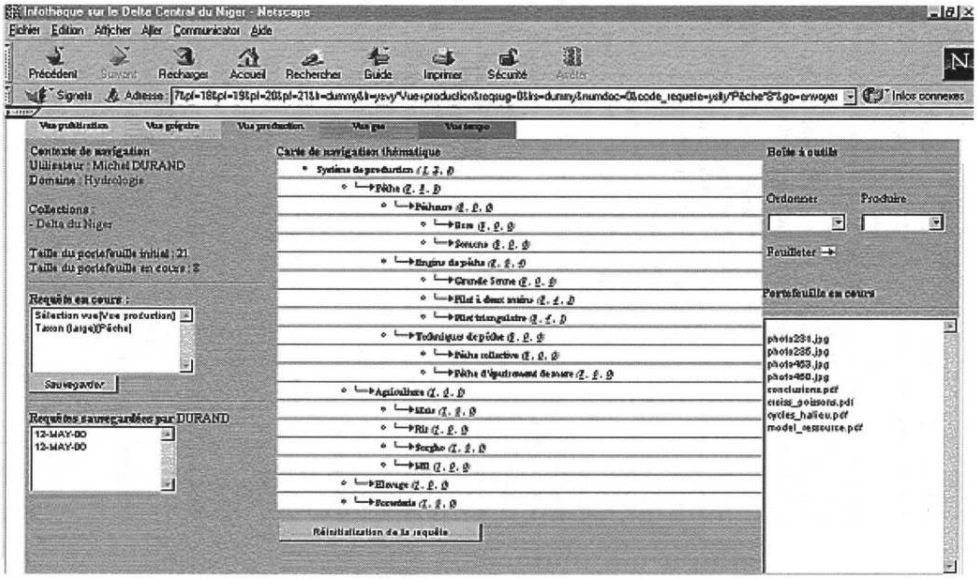


Figure 1. L'interface : exemple de vue construite à partir d'un modèle de vue taxonomique.

28 Les cartes de navigation présentent à l'utilisateur un ensemble de concepts organisés selon une seule sémantique. En choisissant d'utiliser un ensemble de vues particulières pour effectuer ses explorations, l'utilisateur détermine les axes de recherche qui l'intéressent. Il réduit par voie de conséquence la perte d'orientation qui pourrait résulter de l'hétérogénéité des documents et de la multiplicité des axes de recherche qui en découle.

29 L'affichage dans la carte de navigation de la proportion de documents associés à un paramètre de recherche fournit une prévisualisation du résultat de la requête (Plaisant *et al.*, 1999) qui augmente le rôle de guide de la vue. L'utilisation d'un nombre de vues prédéfinies et non paramétrables ne peut convenir à un contexte marqué par la multiplicité et l'évolutivité des schémas cognitifs des utilisateurs qui accèdent aux ressources. Nous proposons donc un fonctionnement basé sur l'utilisation de modèles de vues génériques et, par ricochet, de modèles de cartes de navigation.

30 Le choix des modèles doit être décidé en collaboration avec les utilisateurs lors de la phase de conception du système d'exploration progressive. Un modèle de carte de navigation définit un type d'interface de sélection et un ensemble de fonctions de sélection disponibles. Les instances d'un même modèle de vue partagent la même sémantique et donc les mêmes types de requêtes, mais diffèrent quant aux critères de sélection (paramètres de sélection).

Les opérations ensemblistes sur les portefeuilles

31 Ces opérations permettent d'enrichir ou d'affiner un portefeuille en utilisant d'autres portefeuilles. Il s'agit d'opérations ensemblistes telles que l'union, l'intersection et la différence. La réalisation d'une opération ensembliste sur deux portefeuilles donne lieu à la création d'un nouveau portefeuille. Notons que les opérations ensemblistes, tout comme les modèles de vue, sont des objets prédéfinis dans le système.

Retour à un portefeuille antérieur ou postérieur

32 Au cours d'une activité d'exploration, ce mécanisme permet à l'utilisateur de revenir à un portefeuille construit antérieurement ou postérieurement. Il suppose la gestion d'un historique des portefeuilles construits depuis le début de l'activité d'exploration.

Un processus d'exploration progressif

33 L'opération de base du processus d'exploration est la construction d'un nouveau portefeuille par application d'une fonction de sélection sur un portefeuille. Débutant sa session d'exploration avec un portefeuille initial, l'utilisateur peut soit progresser en construisant un nouveau portefeuille, soit revenir à un portefeuille antérieur et construire un nouveau chemin d'exploration. Il s'ensuit que l'enchaînement des portefeuilles peut être schématisé en un arbre dont la racine est l'ensemble initial de documents (fig. 2). Les portefeuilles peuvent être sauvegardés, importés dans une autre activité d'exploration et fusionnés avec le portefeuille courant. Au final, le processus est effectivement progressif et supporte les concepts d'exploration avec la possibilité d'effectuer des essais, des retours en arrière. Dans le graphique ci-dessous, chaque P_i représente un portefeuille et Vi-fj, le filtre j de la vue Vi. Les flèches au trait plein représentent l'application d'un filtre ou d'une opération ensembliste. Les flèches en pointillés symbolisent le retour au portefeuille précédent.

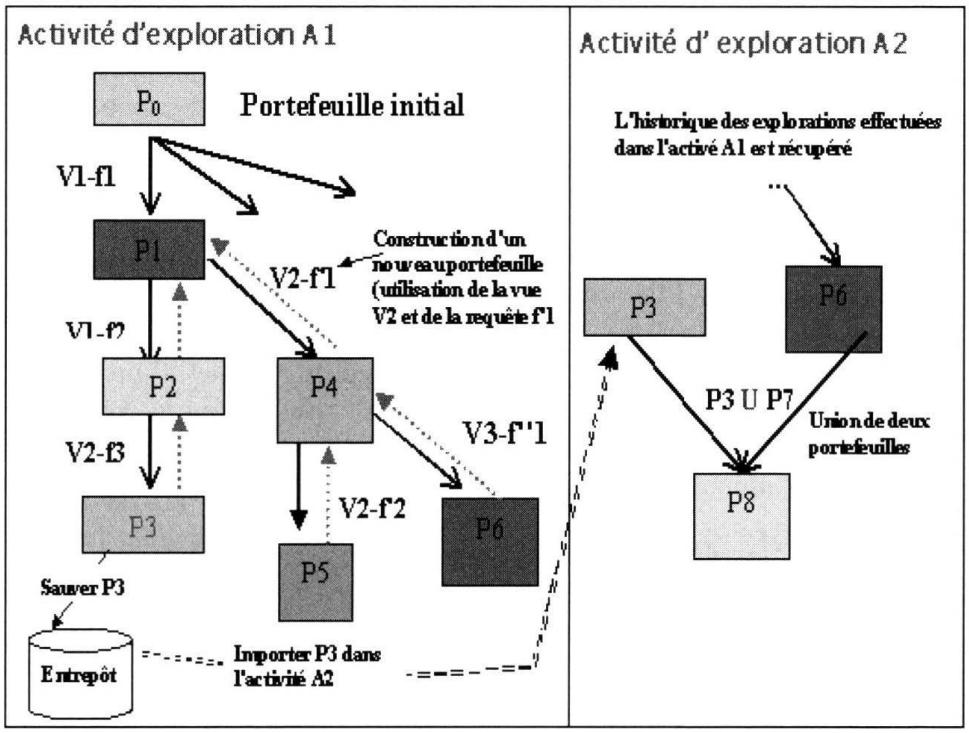


Figure 2. Le processus d'exploration progressif.

Le partage de l'information

34 Le partage d'information est assuré par la possibilité donnée à l'utilisateur de sauvegarder des portefeuilles et des séquences de requêtes. A cet effet, deux types de sauvegarde sont prévus :

- les portefeuilles construits au cours d'une activité d'exploration peuvent être sauvegardés et constituer des espaces de recherche pertinents pour des explorations ultérieures. Ils sont alors choisis comme portefeuilles initiaux lors d'une activité d'exploration ;
- les séquences de requêtes réalisées sur un portefeuille au cours d'une activité d'exploration peuvent être sauvegardées comme une requête. Cette dernière pourra être appliquée à d'autres portefeuilles.

L'architecture

35 L'architecture de l'infothèque est articulée autour de trois principaux services.

36 La figure 3 donne une vue synthétique de cette architecture :

- *le service de collecte* permet aux producteurs d'informations d'ajouter des documents (sous forme de fichiers) dans des entrepôts de l'infothèque et de fournir la (méta) information nécessaire à leur exploitation. Nous préconisons dans le contexte socio-environnemental une description du document sous forme de quelques mots-clés sans contraintes sur le choix des mots ;
- *-l'interface d'exploration* des ressources documentaires est le maillon essentiel du partage et de la diffusion d'informations au sein de l'équipe. Elle assure la gestion des sessions d'exploration, la construction de portefeuille et les sauvegardes ;
- *le service d'administration* permet de faire évoluer l'interface d'exploration par la modification de vues existantes ou la création de nouvelles vues. Elle contribue à faire du système proposé un système adaptable et évolutif.

37 Un prototype de cette architecture est disponible sur Internet à l'adresse *http://www.orleans.ird.fr/WISEDL*. Cette infothèque intègre quelques documents textuels et des images résultant de recherches menées dans la région du delta intérieur du Niger.

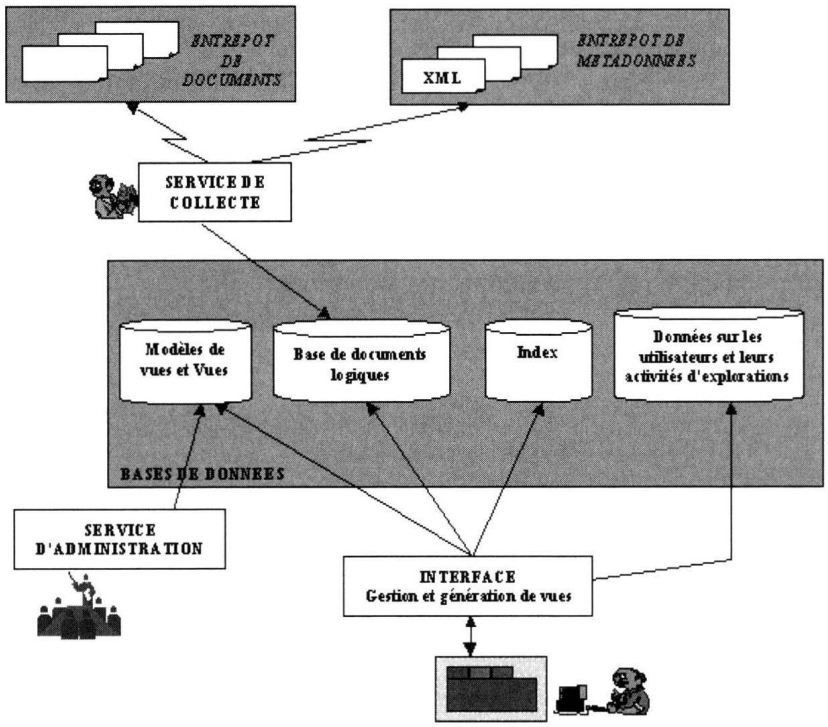


Figure 3. Architecture fonctionnelle de l'infothèque.

Conclusion

38 Aujourd'hui, la puissance et la robustesse des solutions technologiques disponibles en matière de stockage et de circulation de l'information (bases de données, serveurs, Internet) permet le déploiement de systèmes de capitalisation sûrs (banques de données, mémoires d'entreprise, bibliothèques, etc.). Par contraste, cela rend encore plus perceptibles les faiblesses des interfaces utilisateur de ces systèmes. Or, c'est bien de leur ergonomie et de leur adaptation au contexte d'utilisation que dépend l'adoption effective de ces systèmes (Fox et Sornil, 1999). Nous proposons dans cet article une solution d'interaction basée sur un mode particulier d'exploration des ressources documentaires. Cette solution permet en particulier une exploration guidée et progressive de ces ressources. Le caractère instructif et évolutif de l'interface ainsi que la possibilité pour les utilisateurs de partager leurs requêtes ou les résultats de leurs recherches font de cette solution un outil adapté au travail en communauté. Ce système a été implémenté sur la plate-forme « Simes » dédiée à des systèmes d'information environnementaux multimédia en Afrique subsaharienne. Ce qui a permis de procéder à une première validation de cette architecture d'exploration.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Dieng. R., Corby O., Giboin A., Golebiowska J., Matta A., Ribière M., 2000 –*Méthodes et outils pour la gestion de connaissances.* Dunod, Informatiques, 302 p.

Dzeakou P., Morand P., Mullon C, 1998 – « Méthodes et architectures des systèmes d'information pour l'environnement ». *In : Actes 4° colloque africain pour la Recherche en informatique,* Dakar, 12-15 Octobre 1998 : 509-520.

Fox E. A., Sornil O., 1999 – *Modern information retrieval.* AWL, Ricardo-Yates and Berthier Ribeiro-Neto eds.

Kim H., Hirtle S., 1995 – Spatial metaphors and disorientation in Hypertext. *Behaviour and information technology,* Meaningful metaphors, 14 : 239-250.

Leloup C., 1997 – *Moteurs d'indexation et de recherches.* Eyrolles.

Mullon C, Piron M., 1998 – « Sur la méthodologie de mise en place des observatoires socio-économiques ». *In : De l'observation à l'analyse, implication de la biométrie dans les pays en développement,* Société française de biométrie, 15 : 61-77.

Plaisant C, Schneiderman B., Doan K., Bruns T., 1999 – Interface and data architecture for query preview Systems. *Transactions on information Systems,* ACM, 17 (3) : 320-341.

Stuart W., 1999 – *The state of the Dublin core Metadata initiative.* D-Lib Magazine.

NOTES

1. Morand P., Kodio A., Niaré T., ce volume – « Vers un observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger : méthodes, résultats et enseignements d'un dispositif expérimental ». *In : partie 4.*

AUTEURS

PATRICIA DZÉAKOU

Informaticienne. IRD, centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 02, France, patricia.dzeakou@orleans.ird.fr

PIERRE MORAND

Biostatisticien. IRD, SIH-Ifremer, Av. Jean Monnet, 34200 Sète, France, morand@ird.fr

CHRISTIAN MULLON

Modélisateur. IRD, University of Cape Town, dep. of Oceanography, 7701 Rondebosh, South-Africa, cmullon@phvsci.uct.ac.za

YVELINE PONCET

Géographe. IRD, centre d'Orléans, 5 rue du Carbone, 45072 Orléans cedex 02, France, Yveline.Poncet@orleans.ird.fr

JEAN-CLAUDE DERNIAME

Informaticien. Lorasi, 3 rue de Turique, 54000 Nancy, France, Jean-Claude.Derniame@loria.fr

Crue, inondation et production halieutique

Un modèle prédictif des captures dans le delta intérieur du Niger

Raymond Laë et Gil Mahé

1 La gestion de la pêche dans les écosystèmes aquatiques repose sur une bonne connaissance de la ressource disponible et des moyens mis en œuvre pour son exploitation. Pendant de nombreuses années, la science halieutique s'est focalisée sur l'étude de l'impact de l'activité de pêche sur l'abondance et la composition des peuplements. A cet effet, un certain nombre de modèles ont été développés, accordant tous une importance primordiale à la pression de pêche comme variable explicative de l'évolution des stocks de poisson (Ricker, 1954, Beverton et Holt, 1957 ; Schaefer, 1967 ; Fox, 1970).

2 Ces modèles se sont toutefois révélés peu efficaces pour les écosystèmes marins caractérisés par une forte instabilité environnementale de même que pour les écosystèmes aquatiques continentaux. Dans ce dernier cas, c'est généralement la prise en compte de la capacité biotique de l'écosystème, exprimée à travers un modèle empirique, qui fournit la meilleure prédiction du potentiel de captures et même celle des captures effectivement réalisées (Fryer et Iles, 1972 ; Henderson et Welcomme, 1974 ; Melack, 1976 ; Youngs et Heimbuch, 1982 ; Bernacsek et Lopes, 1984 ; Marshall, 1984 ; Moreau et De Silva, 1991 ; De Silva *et al.*, 1991 ; Crul, 1992). Pour les plans d'eau, les modèles empiriques sont basés sur des paramètres ou des indices composites (*e.g.* l'indice morpho-édaphique) qui intègrent la superficie en eau, la profondeur moyenne, la concentration en nutriments, en pigments chlorophylliens, etc. Dans le cas des rivières, les modèles empiriques prennent en compte les surfaces des bassins versants, la longueur des cours d'eau ou le régime des crues (Krykhtin, 1975 ; Holcik et Bastl, 1976 ; Welcomme, 1985).

3 Cependant, ces modèles basés sur les conditions moyennes des écosystèmes ne peuvent en aucun cas prédire les variations interannuelles, lesquelles constituent pourtant l'information la plus intéressante une fois que le contexte géographique est posé, et cela aussi bien pour les gestionnaires des pêches que pour les pêcheurs eux-mêmes.

4 Dans le delta intérieur du Niger au Mali, la pêche est liée au phénomène de crue/décrue (Welcomme, 1986 ; Laë, 1992 ; Sagua, 1999), lui-même dépendant des précipitations qui sont très variables d'une année à l'autre. La question traitée ici porte sur l'identification du ou des meilleur(s) indicateur(s) statistiques permettant de prévoir les captures à partir des données hydroclimatiques.

5 L'utilisation de jeux de valeurs observées de précipitations ou de débits des fleuves, qui sont plus ou moins disponibles en amont des zones de pêche, va donc être testée de manière à extraire une corrélation prédictive. Un point d'attention particulier doit être accordé à l'identification du meilleur décalage temporel à introduire (entre l'entrée du modèle – les variables hydroclimatiques – et sa sortie – les captures) pour améliorer la qualité de la prévision.

6 La finalité de cette étude doit être rapprochée de celle qui motive la mise en place d'un observatoire de la pêche orienté vers le soutien à la prise de décision dans cette même région du delta intérieur du Niger (Morand *et al.*, ce volume[1]). Une capacité de prédiction précoce des variations prochaines du niveau des captures constitue en effet un élément susceptible de contribuer à une meilleure gestion de cette grande pêcherie sahélienne.

L'environnement

7 Le réseau hydrographique des tributaires du delta intérieur du Niger s'organise autour du Niger et de son affluent principal, le Bani. Le haut Niger se forme sur le territoire guinéen en amont de Siguiri avec quatre affluents importants : le Tinkisso en rive gauche issu du Fouta Djalon, le Niandan et le Milo en rive droite drainant le sud du Pays et la branche mère du Niger dont la station la plus importante est Kouroussa. Parvenu au Mali et en amont de Bamako, le Niger reçoit en rive droite, le Sankarani d'origine essentiellement guinéenne. Le Bani qui rejoint le Niger à Mopti est constitué de trois branches majeures : le Baoulé qui prend sa source vers Odienné et arrose la région de Bougouni, la Bagoé venue de Boundiali et le Banifing qui draine la région de Sikasso.

8 L'ensemble drainé concerne le Sud du Mali et le Nord de la Côte d'Ivoire. Les précipitations y sont moins abondantes qu'en Guinée et le volume d'eau tombé sur le bassin du Bani représente 39 % des pluies sur l'ensemble du bassin du Niger à Douna et Koulikoro en année moyenne (période de référence 1951-1990) (Mahé *et al.*, 1997 ; Bamba *et al.*, 1997). Cette part des pluies sur le bassin du Bani est approximativement stable si l'on considère les décennies 50 à 80. Toutefois, la part de l'écoulement total vers le delta provenant du bassin du Bani (enregistré à Douna) passe de 34 % à 20 % entre les décennies 50 et 80, avec une moyenne de 19 % pour la période 1971-1990. Ces résultats sont confirmés par les données plus récentes (Quensiere *et al.*, 1994 ; Marieu *et al.*, 1998). On peut donc considérer que depuis 30 ans de 80 % de la ressource hydrique du Niger provient du château d'eau de l'Afrique de l'Ouest que constitue la Guinée. Les pluies sur le delta intérieur au Mali n'interviennent quant à elles que pour 5 % en moyenne dans l'inondation du delta intérieur (Mahé *et al.*, ce volume[2]).

9 Le déficit pluviométrique enregistré en Guinée et en Côte d'Ivoire à différentes reprises depuis le début du siècle est responsable d'une baisse considérable des débits moyens annuels de ces deux fleuves (fig. 1). Sur le Bani, les moyennes décennales, fortes en 1950-1959 (1 467 $m^3 s^{-1}$), décroissent régulièrement pour atteindre 589 $m^3 s^{-1}$ en 1980-1988. Sur le Niger, le phénomène est identique et l'on peut opposer les années de

forte hydraulicité (1920-1929 ; 1950-1959) et de faible hydraulicité (1910-1919 ; 1970-1979). A partir des années 1960, il existe une tendance continue à la baisse, les débits de la décennie 1980-1990 (831 m^3 s^{-1}) étant de loin les plus faibles enregistrés depuis le début du siècle (Mahé *et al.*, 1997).

10 Cette diminution des débits entraîne des modifications dans le processus d'inondation du delta, avec des surfaces en eau au moment du pic de crue qui ont tendance à se réduire en même temps que se raccourcit la durée de submersion en chaque point. Ainsi, depuis le milieu du siècle, Quensière *et al.* (1994) estime que l'extension de l'inondation (au moment du pic de crue) a varié selon les années dans une gamme de valeurs allant de 43 900 km (en 1957) à 9 500 km (en 1984). Il s'ensuit des changements dans les formations végétales des plaines inondables (Deceuninck, 1989). Par exemple, dès lors que la durée d'inondation devient inférieure à trois mois par an, *Vetiveria nigrita* (graminée vivace) remplace *Echinochloa stagnina* et *Oryza longistaminata.* La conséquence est une modification des capacités biotiques des plaines qui offrent normalement à chaque crue une nourriture abondante et variée aux poissons.

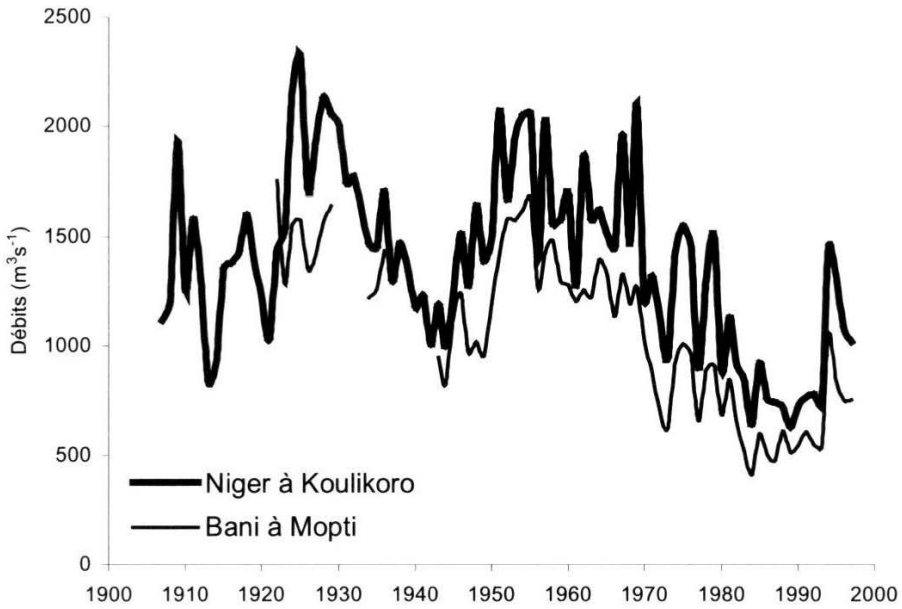


Figure 1. Évolution des débits annuels du Niger et du Bani, respectivement aux stations de Koulikoro et de Mopti.

Les poissons et la pêche

11 Les communautés ichtyologiques des cours d'eau africains sont très riches (Lévêque et Paugy, 1999). De nombreuses espèces sont adaptées à la survenue de conditions défavorables, notamment à la contraction de leur habitat durant la saison sèche. L'alimentation, la croissance et la mortalité dépendent de la saison. Ainsi, chez la plupart des espèces, la reproduction a lieu au début de la crue, la croissance est limitée à la période de montée des eaux et le taux de mortalité est plus élevé en étiage. L'abondance des poissons varie donc positivement au cours d'un cycle hydrologique en fonction des superficies en eau (Welcomme, 1989).

12 Bien qu'artisanale, la pêche est intensive et elle est caractérisée par des variations saisonnières nettes, avec un ralentissement de l'activité aux alentours du pic de crue, au moment où les poissons sont dispersés dans la plaine d'inondation. Les pêcheurs du delta intérieur du Niger déploient ainsi leur effort selon un schéma très contrasté dans l'espace et le temps, calé sur le cycle annuel des saisons hydrologiques (Daget, 1949 ; Laë, 1994 a ; Laë et Morand, 1994). Ce cycle est en effet le déterminant majeur des dynamiques de reproduction et de migration du poisson et, par voie de conséquence, des variations de sa disponibilité (abondance et vulnérabilité). Et le pêcheur a tout intérêt à tirer parti de ces variations, largement prévisibles, pour augmenter ses captures, en combinant mobilité et diversification des techniques de pêche.

13 La dégradation des conditions environnementales a entraîné au cours des dernières décennies un certain nombre d'adaptations qui se traduisent par une diversification des engins, par la recherche de nouvelles technologies adaptées au rajeunissement des stocks cibles et par l'exploitation de milieux jusqu'alors peu accessibles. II semble ainsi que les périodes de sécheresse voient les activités se renforcer à la décrue et se ralentir à l'étiage, puisqu'un grand nombre de milieux – qui restaient toute l'année en eau durant les années de forte hydraulicité – se retrouvent alors temporairement asséchés. Dans les conditions actuelles de forte exploitation, cela entraîne une concentration des efforts et des captures (fig. 2) dans les trois secteurs (ou strates) encore régulièrement inondés sur les six que compte la région du delta (voir carte en figure 1 *in* Morand *et al.*, ce volume).

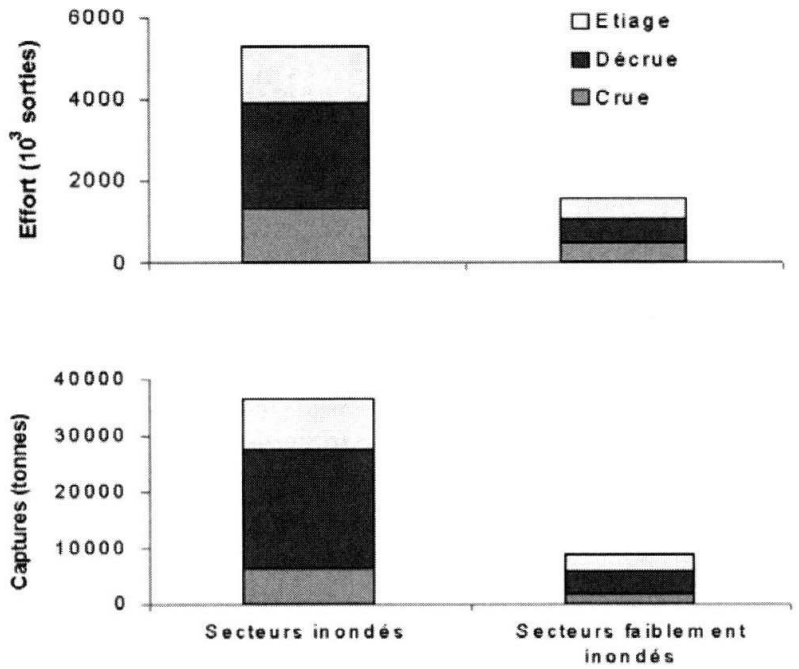


Figure 2. Répartition spatiale et temporelle des efforts de pêche et des captures dans le delta intérieur du Niger.

Méthode

14 Les premières études sur la pêche dans le delta datent des années 1955. Elles consistaient en des opérations d'ampleur limitée dans l'espace et dans le temps (Daget, 1949 ; Blanc *et*

al., 1955 ; Cantrelle et Laurent, 1961 ; Scet-Sedes, 1964, Daget, 1973). A partir de 1966, des études spécialisées sont menées par l'Opération pêche de Mopti (OPM) visant particulièrement les circuits commerciaux (OPM, 1989). Depuis cette période, des statistiques de pêche annuelles sont enregistrées sur le port de Mopti, qui constitue un point de rupture de charge pour le transfert des cargaisons (depuis les pinasses vers les camions) et qui joue aussi un rôle de marché de gros. Sur la base de ces statistiques de quantités en transit, un mode d'estimation des captures totales dans la région peut être proposé (Laë, 1992). Il passe par l'évaluation d'une composante « consommation locale et autoconsommation », indispensable pour la reconstitution d'une estimation de production totale à partir des flux partiels enregistrés par l'OPM à Mopti. Cette évaluation a pu être obtenue par calage sur une autre estimation des captures totales, obtenue pour une période limitée (1989-91) mais selon une méthode beaucoup plus directe. Il s'agit en effet de données collectées par une enquête cadre à fort taux d'échantillonnage et par un suivi des quantités mises à terre sur un réseau échantillon de 36 sites de production, au cours de deux campagnes successives[3].

Tableau 1. Captures annuelles de poisson (en tonnes) estimées pour le delta intérieur du Niger et débits annuels (en $m^3 s^{-1}$) du Niger à Koulikoro et du Bani à Mopti. Les résultats sont donnés de juillet de l'année n à juin de l'année n+1.

Années	Niger à Koulikoro $m^3 s^{-1}$	Bani à Mopti $m^3 s^{-1}$	Captures tonnes	Années	Niger à Koulikoro $m^3 s^{-1}$	Bani à Mopti $m^3 s^{-1}$	Captures tonnes
1966-67	2 675	1 999	77 343	1979-80	3 677	1 802	68 501
1967-68	3 428	2 366	76 879	1980-81	2 000	1 358	61 603
1968-69	2 993	2 089	81 578	1981-82	2 754	1 769	57 025
1969-70	4 170	2 346	83 191	1982-83	2 077	1 295	47 829
1970-71	2 756	1 882	75 913	1983-84	1 897	1 049	40 860
1971-72	3 227	1 810	67 339	1984-85	1 313	811	35 551
1972-73	2 487	1 413	56 550	1985-86	2 154	1 284	46 877
1973-74	2 258	1 293	44 865	1986-87	1 573	1 046	43 276
1974-75	3 330	1 985	55 103	1987-88	1 354	948	42 597
1975-76	3 333	2 069	67 114	1988-89	1 762	1 304	47 289
1976-77	2 258	1 754	68 310	1989-90	1 208	1 058	45 000
1977-78	1 827	1 235	60 842	1990-91	1 535	1 136	48 600
1978-79	2 643	1 822	59 798				

15 Pour la reconstitution d'une série de 25 ans de valeurs de production totale (tableau 1), il a bien sûr été pris en compte le fait que la composante « consommation locale et autoconsommation » devait diminuer en remontant le temps, compte-tenu de l'évolution démographique. C'est cette série de 25 valeurs qui est utilisée dans le modèle prédictif présenté ci-après.

16 Les données de pluviométrie et d'hydrologie proviennent des annuaires de l'IRD (CIEH, 1974, 1989 ; Mahé, 1996 ; Mahé *et al.*, ce volume). Pour la pluviométrie, elles concernent les stations du Niger à Banankoro, Kouroussa, Faranah et Siguiri, du Niandan à Baro, du Milo à Kankan, du Sankarani à Mandiana et Sélingué, du Tinkisso à Ouaran, du Baoulé à Bougouni et Dioila, du Banifing à Pankourou, du Bani à Douna. Les données de crue concernent deux stations (Koulikoro et Mopti) pour lesquelles la chronique des débits

remonte au début du 20e siècle (Marieu *et al.*, 1998). La station de Mopti est représentative du sud et du centre de la cuvette lacustre. Située en amont de la cuvette, la station de Koulikoro présente un grand intérêt car elle enregistre les débits venant du Niger. Compte-tenu du déplacement de l'onde de crue entre le sud et le nord du delta, le pic de crue se situe en septembre, soit trois mois avant celui qui sera perçu en décembre à l'extrémité nord du delta. Pour les années de faible hydraulicité, ce décalage est ramené à un mois : pics en septembre dans le Sud et en octobre dans le Nord (fig. 3).

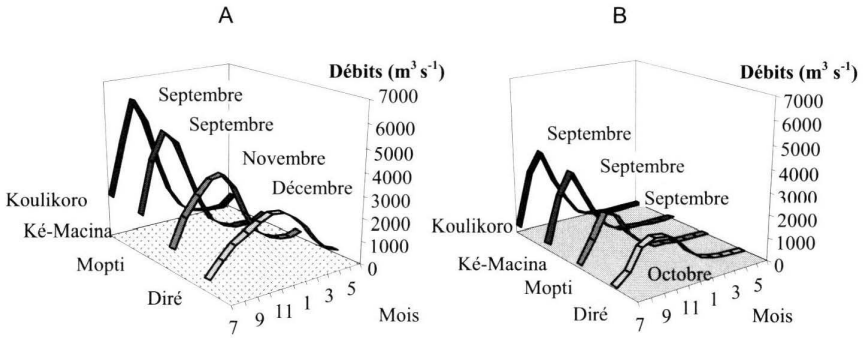


Figure 3. Déplacement de l'onde de crue entre le sud et le nord du delta intérieur du Niger en années de bonne crue (A) et mauvaise crue (B).

17 La présentation des résultats est faite suivant l'année hydrologique (de juillet à juin), solution qui semble bien adaptée au cas du delta intérieur puisque le cycle biologique du poisson – ponte en début de crue, reproduction et nutrition dans les zones inondées – ainsi que son exploitation halieutique – pêche intensive à la décrue (de novembre à février) et pêche collective à l'étiage (mars à juin) – sont étroitement liés aux paramètres hydrologiques.

Résultats

Relation pluie/production halieutique

18 Considérant que la ressource hydrique du Niger provient principalement du bassin du Niger et plus particulièrement de sa composante guinéenne, une relation a été recherchée entre les pluies sur la Guinée et les captures annuelles dans le delta intérieur du Niger. Les histogrammes réunis en figure 4 montrent que les précipitations maximales sur la Guinée interviennent aux mois d'août et de septembre, les mois d'octobre et de novembre montrant déjà un net ralentissement de la pluviométrie. Ces pluies sur la Guinée vont déterminer l'importance des crues entrant dans le delta avec un décalage d'une quinzaine de jours. Il semblait donc possible dès le mois de septembre de prévoir l'importance de l'inondation dans le delta et par voie de conséquence le volume des captures en poisson.

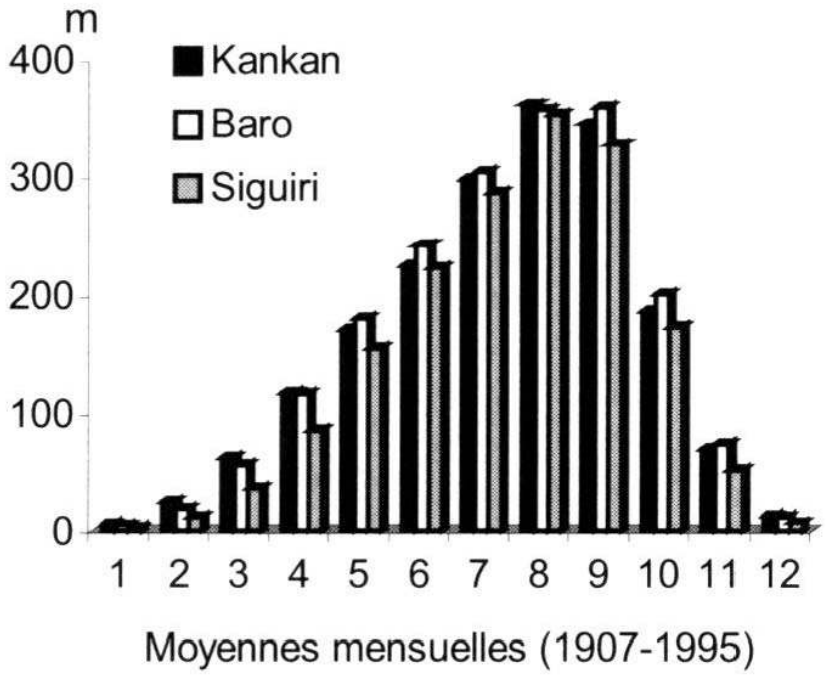


Figure 4. Cycles annuels de la pluviométrie (en mm) sur le bassin supérieur du fleuve Niger en amont du delta intérieur du Niger, aux stations guinéennes de Kankan, Baro et Siguiri.

19 En fait les relations obtenues en utilisant comme variable explicative une station de Guinée (tableau 2), différentes combinaisons de stations en Guinée ou différentes combinaisons de stations entre la Guinée et la Côte d'Ivoire, se sont toutes révélées non significatives ou caractérisées par des coefficients de détermination R^2 relativement faibles (tableau 2).

Tableau 2. Résultats de trois essais de régressions prédictives des captures de poisson dans le delta intérieur du Niger, à partir de données de pluie en Guinée.

Variable dépendante	Variable indépendante 1	Variable indépendante 2	R^2 ajusté	p <
Captures (juillet-juin) année n	Pluies à Kankan (mai-septembre) année n	Pluies à Kankan année n-1	0,32	0,110
Captures (juillet-juin) année n	Pluies à Baro (Mai-Septembre) année n	Pluies à Baro année n-1	0,53	0,003
Captures (juillet-juin) année n	Pluies à Siguiri (mai-septembre) année n	Pluies à Siguiri année n-1	0,64	0,001

Relation crue/production halieutique

20 L'analyse de la série des productions totales estimées pour la période 1967-1991 fait apparaître de fortes fluctuations inter-annuelles, avec une tendance générale orientée à

la baisse. Le maximum est de 87 000 tonnes en 1969/70 et le minimum de 37 000 tonnes en 1984/85 (fig. 5).

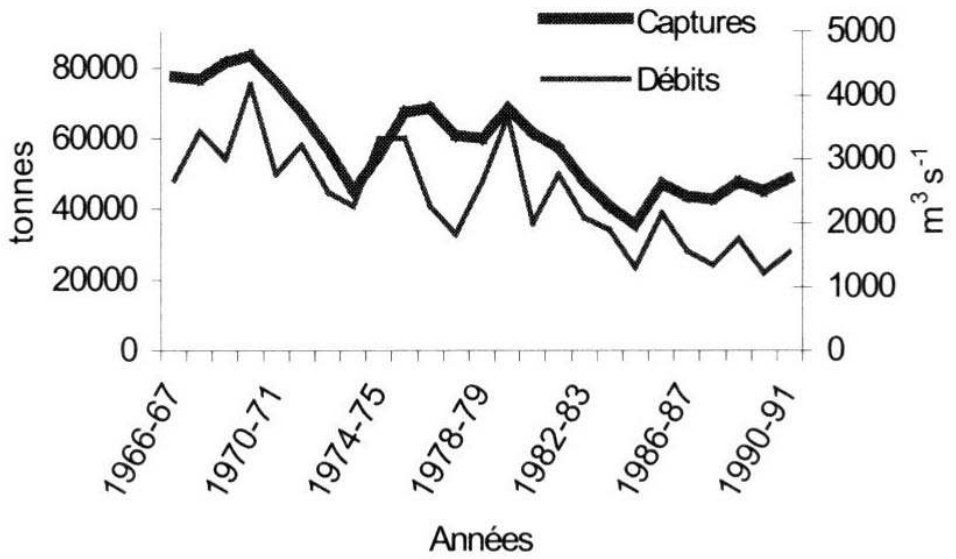


Figure 5. Évolution interannuelle (de 1966 à 1991) des débits du fleuve Niger à Koulikoro (en $m^3 s^{-1}$) et des captures totales de pêche dans le delta intérieur (en 10^3 tonnes).

21 La station de Mopti permet de prendre en compte les arrivées d'eau provenant du Niger et du Bani. La crue s'étend du mois de juillet au mois de décembre, période de référence pour les apports en eau dans le delta intérieur (fig. 6). Le maximum de crue (moyenne 1907-1995) y est enregistré (2 804 $m^3 s^{-1}$) au mois d'octobre mais les débits y sont fortement réduits compte tenu de l'étalement des eaux dans les plaines inondées. La corrélation a été testée pour l'année n et l'année n-1 car les captures interviennent principalement sur des individus nouvellement recrutés ou recrutés l'année précédente – d'où la nécessité de prendre en compte un possible effet des conditions environnementales survenues au cours de l'année n-1.

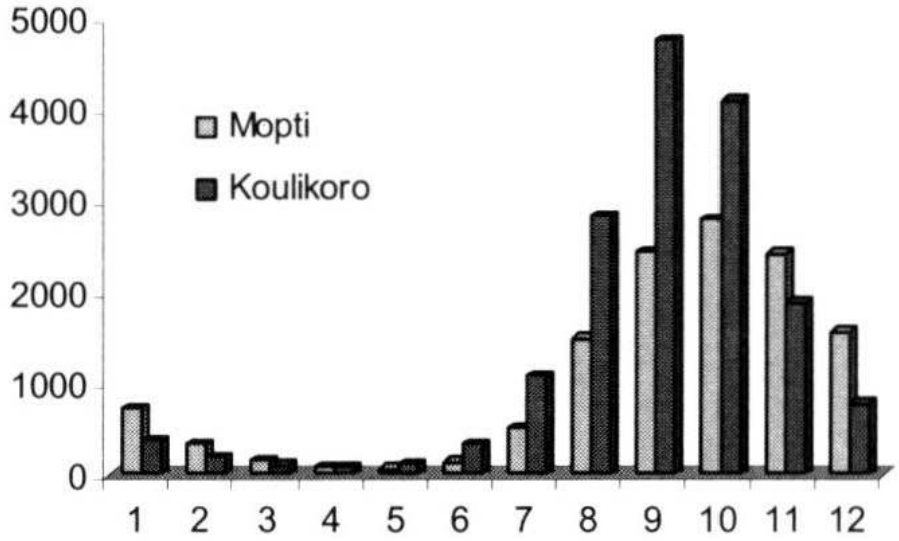


Figure 6. Débits mensuels moyens (période 1907-1995) du fleuve Niger à Koulikoro et du Bani à Mopti (en $m^3 s^{-1}$).

22 Si l'on analyse les variations des captures annuelles de 1966 à 1991 en fonction des débits moyens observés à Mopti de juillet à décembre de l'année en cours et de juillet à décembre de l'année précédente, on obtient un coefficient de détermination R^2 très élevé, égal à 0,93 ($p<0,0006$), ce qui traduit une excellente capacit351 prédictive du modèle.

23 L'objectif du modèle étant d'obtenir une prédiction aussi précoce que possible, nous avons également testé la prédiction des captures à partir des débits enregistrés à la station de Koulikoro (fig. 5), située en amont du delta. Le pic de crue (4 770 $m^3 s^{-1}$) y intervient en effet en septembre, soit un peu plus tôt qu'à Mopti (fig. 6). Dans ce cas, au lieu d'utiliser comme précédemment toute la période de crue de l'année n (juillet à décembre) et dans l'espoir de réduire la période d'observation nécessaire à la prédiction, nous nous sommes limités pour l'année n à l'utilisation des données de juillet à septembre. Le résultat obtenu reste hautement significatif : $p < 0,0011$ avec un R^2 égal à 0,82 (fig. 7).

24 Le modèle s'écrit alors :

25 $\text{Prises}_{\text{annuelles}} = 0,51\ \text{Déb(juil-sep)} + 0,54\ \text{Déb}^{-1}\ \text{(juil-déc)} + 15\ 281$

26 Cette relation permet de prédire les captures annuelles de poisson dès le mois de septembre, avant même que la campagne de pêche n'ait commencé.

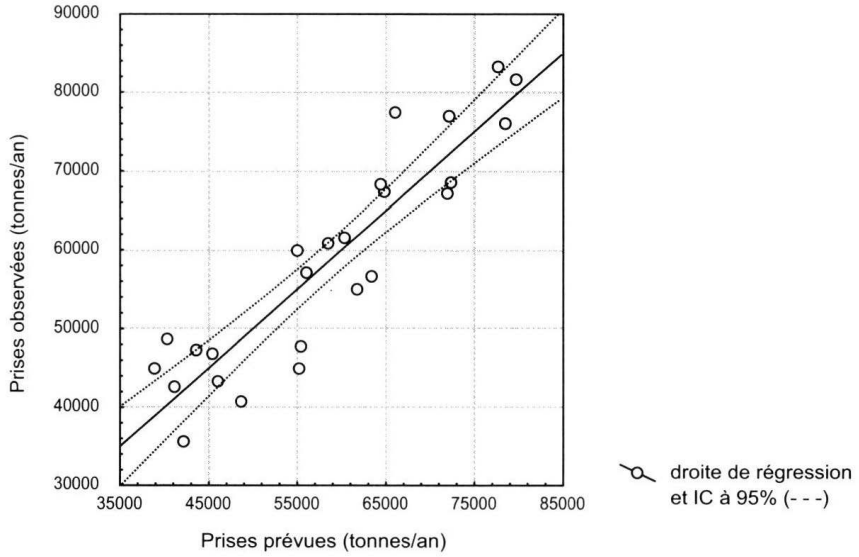


Figure 7. Modèle de prédiction des prises de pêche dans le delta intérieur en fonction des débits du Niger à Koulikoro : corrélation entre les valeurs observées et les valeurs prévues par le modèle.

Discussion

27 Au début de cette étude, nous pensions que les données de pluie sur la Guinée et la Côte d'Ivoire permettraient d'obtenir la prédiction la plus précoce possible. Il n'en a rien été. La faible qualité de la relation entre la pluviométrie sur la Guinée et les captures dans le delta intérieur peut provenir soit d'une mauvaise identification de la station ou des stations représentatives de la pluviométrie sur le bassin versant, soit de la mauvaise qualité de la relation statistique (considérée dans le long terme) entre la pluviométrie et la crue du Niger. Cette dernière hypothèse peut être évoquée puisqu'il existe un certain décalage entre l'évolution à long terme de la pluviométrie sur les régions soudaniennes et l'évolution de l'hydraulicité du fleuve. L'explication du phénomène tiendrait dans l'épuisement progressif des aquifères des bassins qui a entraîné une accélération considérable de la phase de tarissement (Olivry, 1993).

28 Par contre, il existe de bonnes relations entre les débits du Niger et les captures annuelles de poisson. Cette première conclusion n'est pas originale puisque de nombreux auteurs ont déjà noté la relation existant entre les débits à la crue et l'abondance des populations de poisson. On considère généralement que la production des pêcheries pour une année n dépend de l'intensité des crues des années n-1, n-2 ou n-3, dont les effets interviennent avec des pondérations décroissantes (Wimpenny, 1934 ; Krykhtin, 1975 ; Holcik et Bastl, 1977 ; Welcomme et Hagborg, 1977 ; Durand, 1978 ; Welcomme, 1979 ; Welcomme, 1986 ; Bénech et Quensière, 1987 ; Laë, 1992 ; Sagua, 1999). Toutefois, dans le cas du delta intérieur du Niger – et contrairement à ce qui a été observé dans les travaux précédemment cités – le niveau des captures semble être totalement expliqué par les deux crues les plus récentes. Et l'on peut avancer plusieurs raisons pour expliquer cela.

29 Tout d'abord il faut rappeler que la population du delta intérieur double tous les 20 ans. Ceci, combiné à l'amélioration des matériaux et techniques de pêche, a conduit à une augmentation spectaculaire de l'effort de pêche (Laë *et al.*, 1994 a). Dans ces conditions de

très forte mortalité, les stocks sont en renouvellement rapides, constitués majoritairement de jeunes poissons, et les activités de pêche intensives qui se déroulent en période de décrue exercent un prélèvement important sur le recrutement de l'année. L'examen des poissons débarqués montre d'ailleurs que 70 % d'entre eux ont moins d'un an (Laë, 1992), ce qui signifie qu'ils ont été pondus et se sont développés lors de la crue immédiatement précédente, dont l'intensité a déterminé en grande partie leur niveau d'abondance.

30 Par ailleurs, les fortes variations saisonnières du delta intérieur du Niger font qu'il n'y a pas d'effet durable de la pression de pêche sur le niveau des stocks. Ceci pour deux raisons.

31 D'une part, la vulnérabilité des poissons est moindre en période de crue et de hautes-eaux lorsqu'ils sont dispersés dans les plaines inondées. Pour chaque espèce, cette période représente une phase de reproduction et de croissance importante et, au niveau global, cela entraîne une augmentation considérable de la biomasse. Dans ce contexte, une forte inondation sur plusieurs mois permet une reconstitution totale de la biomasse quelque soit la faiblesse de celle-ci en fin de la campagne de pêche précédente (c'est-à-dire en juillet au moment de l'amorce de la nouvelle crue).

32 D'autre part, malgré les adaptations des espèces à la variabilité de leur environnement, les capacités biotiques de l'écosystème aquatique se réduisent tellement en étiage que les mortalités naturelles sont alors extrêmement fortes, accrues encore par la présence de nombreux oiseaux qui profitent des faibles hauteurs d'eau pour harponner aisément les poissons. De telles mortalités naturelles masquent l'impact éventuel de la pêche, puisque tout se passe comme si celle-ci ne faisait que prélever en décrue les poissons qui n'auraient pas survécu, quelques semaines ou mois plus tard, à la période d'étiage.

33 Compte-tenu de ce qui précède, et à condition qu'un stock minimal de reproducteurs survive en fin d'étiage, on comprend que toute modification du volume des captures peut être associée à une variation immédiatement antérieure des capacités biotiques de l'écosystème. Ce qui explique que cette modification soit largement prévisible à partir de la seule connaissance des volumes d'eau entrant dans la cuvette lacustre.

Conclusion

34 Le facteur déterminant l'abondance des stocks ichtyologiques dans le delta intérieur semble bien être l'étendue et la durée de l'inondation provoquée par la crue. L'effet est d'ailleurs immédiat puisqu'une mauvaise crue entraîne une diminution des débarquements pour la campagne de pêche qui suit alors qu'un retour à la normale de l'hydrologie permet au stock de se reconstituer sans qu'aucun délai ou presque ne soit nécessaire.

35 L'utilisation d'un modèle de prédiction des captures basé sur l'utilisation des données de pluies sur la Guinée ou la Côte d'Ivoire s'est avérée peu concluante à ce stade de nos analyses. De plus la mise en place opérationnelle d'un tel modèle exigerait le fonctionnement régulier d'un réseau de suivi pluviométrique sur tout le bassin versant du Niger. Or, l'implémentation d'un tel dispositif parait une contrainte technique excessivement lourde pour un observatoire de la pêche. De plus, nous avons vu que la relation statistique pluies-débits souffre d'un défaut de stabilité dans le long terme.

36 Par contre, l'utilisation directe des données de débits du Niger à Koulikoro est simple à mettre en œuvre et permet une prédiction réaliste des captures avec plusieurs mois d'avance[4]. Ce modèle relativement simple pourrait être intégré au bulletin de l'observatoire de manière à prévoir dans un premier temps le volume global de captures pour la campagne à venir.

37 Dans un second temps, il semble possible d'estimer à partir des données hydrologiques la répartition des captures dans les différentes zones du delta. De ce point de vue, ce type de prédiction rejoindrait les objectifs de l'observatoire, à savoir :

- *prévoir les possibilités spatiales d'exploitation à la décrue et à l'étiage* en évaluant, au niveau local et pour les prochains mois, la mise en eau et la durée d'inondation des zones et secteurs de pêche répertoriés ;
- *prévoir le résultat de la pêche en matière de volumes par zone* : intervenant bien avant le démarrage de la campagne de pêche, la rapidité de la prévision permettrait d'envisager, au niveau local, la répartition de la demande de travail entre pêche intra-deltaïque, agriculture et pêche à l'extérieure du delta ;
- *prévoir les difficultés de valorisation du produit de la pêche en fonction du volume des captures escomptées.*

38 Ce type de modèle représente donc un outil qui peut venir en appui à la gestion à court terme, pour prévenir les situations de dysfonctionnement, de tension ou de crise.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bamba F., Diabaté M., Mahé G., Diarra M., 1997 – « Bilans hydrologiques pour des affluents majeurs du fleuve Niger : le Bani, le Sankarani, le Tinkisso et le Milo ». *In : Atelier sc. Friend-AOC Unesco-PHI,* Cotonou, 14-15 déc. 1995, Doc. techn. en hydrologie, Unesco-PHI-V, 16 : 65-82.

Bénech V., Quensière J., 1987 – *Dynamique des peuplements ichtyologiques de la région du lac Tchad (1966-78). Influence de la sécheresse sahélienne.* Thèse doct. État, univ. Lille-Flandre-Artois, 410 p.

Bernacsek G. M., Lopes S., 1984 – *Mozambique. Investigations into the fisheries and limnology of Cahora Bassa Reservoir seven years after dam closure.* FAO-GCP-MOZ-006-SWE, Field Doc. 9, FAO, Rome, 145 p.

Beverton R. J. H., Holt S. J., 1957 – *On the dynamics of exploited fish populations.* U.K., Min. Agric. Fish., Fish. Invest., sér. 2., vol. 19.

Blanc M., Daget J., Aubenton F. (d'), 1955 – Recherches hydrobiologiques dans le bassin du moyen Niger. *Bull. Ifan,* 17, sér. A, 17 p.

Cantrelle P., Laurent C., 1961 – Le *poisson de fleuve dans l'ouest africain.* Ministère de la Coopération française, 69 p.

CIEH, 1974 – *Annales des précipitations journalières de l'origine des stations à 1965.* CIEH-SEAE/Coop-Orstom, Côte d'Ivoire, 1973, 688 p ; Mali, 1974, 1082 p.

CIEH, 1989 – *Annales des précipitations journalières de 1966 à 1980.* CIEH-Asecna-Orstom, Côte d'Ivoire, 1989, 609 p ; Mali, 1989, 782 p.

Crul R. C. M., 1992 – *Models for estimating potential fish yields of African inland waters.* Doc. FAO, CIFA Occas. Pap. 16, 22 p.

Daget J., 1949 – La pêche dans le delta central du Niger. *Journal de la société des africanistes,* 19 (1) : 1-79.

Daget J., 1973 – La pêche dans le fleuve Niger. *Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish.,* special issue II : 107-114.

Deceuninck V., 1989 – *Études nationales pour le développement de l'aquaculture en Afrique : Mali.* Doc. FAO, circulaire sur les pêches, FIRI/770.24, Rome, 98 p.

De Silva S. S., Moreau J., Amarasinghe U.S., Chookajorn T., Guerrero R. D., 1991 – A comparative assessment of the fisheries in lacustrine inland waters in three Asian countries based on catch and effort data. *Fish. Res.,* 11 : 177-189.

Durand J. R., 1978 – Biologie et dynamique des populations *d'Alestes baremoze* (Pisces, Characidae) du bassin tchadien. *Trav. doc. Orstom,* 98, 332 p.

Fox W. W. Jr,, 1970 – An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish Soc,* 99 : 80-88.

Fryer G., Iles T. D., 1972 – *The cichlid fishes of the great lakes of Africa.* Oliver and Boyd, Edinburgh.

Henderson H. F. Welcomme R. L., 1974 – *The relationship of yield to morphoedaphic index and numbers of fishermen in African inland fisheries.* Doc. FAO, CIFA Occas. Pap. 1,19 p.

Holcik J., Bastl I., 1976 – Ecological effects of water level fluctuations upon the fish populations in the Danube River floodplain in Czechoslovakia. *Acta Sci. Nat. Acad. Sci.,* Bohemoslov, Brno, 10 (9), 46 p.

Krykhtin K. L, 1975 – Causes of periodic fluctuations in the abundance of the non-anadromous fishes in the Amur River. *J. Ichthyol.,* 15 (5) : 826-829.

Laë R., Raffray J., 1990 – « Les pêcheries artisanales du secteur de Mopti : ressource, communautés de pêcheurs et stratégies d'exploitation ». *In : Étude des pêches artisanales,* actes Atelier de Bamako, 20-23 novembre 1990, ORSTOM-IER, 37 p.

Laë R., 1992 – Influence de l'hydrologie sur l'évolution des pêcheries du delta central du Niger de 1966 à 1989. *Aquatic living resources,* 5(2) : 115-126.

Laë R., Maiga M., Raffray J., Troubat J. J., 1994 a – « Évolution de la pêche ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 143-163.

Laë R., Morand P., 1994 – « Typologie des cycles d'activités halieutiques : ménages sédentaires et petits migrants du secteur de Mopti ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 287-294.

Laë R., Morand P., Herry C, WeigelJ. Y., 1994 b – « Méthodes quantitatives : échantillonnage et traitement des données ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 449-477.

Lévêque C, Paugy D. (éd.), 1999 – *Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme.* IRD, 521 p.

Mahé G., 1996 – *Annuaire des précipitations mensuelles et annuelles de la Guinée Konakry de l'origine des stations à 1995.* Doc. Orstom, Projet Friend-AOC, Bamako, 62 p.

Mahé G., Bricquet J.-P., Soumaguel A., Bamba F., Diabaté M., Diarra M., Henry des Tureaux T., Kondé C, Leroux J.-F., Mahieux A., Olivry J.-C., Orange D., Picouet C, 1997 – « Bilan hydrologique du Niger à Koulikoro depuis le début du siècle ». *In* : Proceedings of oral presentation, international conference FRIEND'97, Postojna, Slovenia, Sep.-Oct. 1997, *Acta Hydrotechnica,* Ljublana, Slovénie, 15/18 : 191-200.

Marieu B., Bamba F., Bricquet J.-P., Cissé N., Gréard M., Henry des Tureaux T., Mahé G., Mahieux A., Olivry J.-C, Orange D., Picouet C, Sidibé M., Touré M., 1998 – *Actualisation des données hydrométriques du fleuve Niger au Mali pour Equanis.* Etudes et rapports Gihrex, ER32, IRD, Bamako, Mali, 81 p.

Marshall B. E., 1984 – *Towards predicting ecology and fish yields in African reservoirs from pre-impoundment physico-chemical data.* Doc. F AO, CIFA Tech.Pap., 12, 36 p.

Melack J. M., 1976 – Primary productivity and fish yields in tropical lakes. *Trans. Am. Fish.Soc,* 105 : 575-580.

OPM, 1989 – « Ministère des ressources naturelles et de l'élevage, 1966-1989 ». *In : Opération Pêche Mopti, rapport annuel,* Direction nationale des eaux et forêts, Mopti, Mali.

Moreau J., De Silva S. S., 1991 – *Predictive fish yield models for lakes and reservoirs of the Philippines, Sri Lanka and Thailand.* Doc. FAO, Fish. Tech. Pap., 319, 42 p.

Olivry J.-C, 1993 – « Évolution récente des régimes hydrologiques en Afrique intertropicale ». *In* Griselin M. (éd.) : *L'eau, la terre et les hommes, hommage à René Frecaut,* Presses universitaires de Nancy : 181-190.

Quensière J., Olivry J.-C, Poncet Y., Wuillot J., 1994 – « Environnement deltaïque ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger,* Paris, IER-Orstom-Karthala : 29-80.

Ricker W. E., 1954 – Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Board. Can.,* 11 : 559-653.

Sagua V. O., 1999 – *The effects of climate change on the fisheries of the Sahel.* Doc. FAO, Rome, 63 p.

SchaeferM. B., 1967 – Fishery dynamics and present status of the yellowfin tuna population of the eastern Pacific Ocean. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.,* 12 : 89-136.

Scet-Sedes, 1964 – *Traitement et commercialisation du poisson pêché dans le delta central du Niger. Tome I : analyse de la situation actuelle.* Mission française de coopération, Paris.

Welcomme R. L, Hagborg D., 1977 – Towards a model of a floodplain fish population and its fishery. *Environ. Biol. Fish., 2 :* 7-22.

Welcomme R. L., 1979 – *Fisheries ecology of floodplain rivers.* London, Longman, 317 p.

Welcomme R. L., 1985 – *River fisheries.* Doc. FAO, Fish. Tech. Pap., 262 ; 330 p.

Welcomme R. L, 1986 – The effects of the sahelian drought on the fishery of the central delta of the Niger river. *Aquac. Fish. Management,* 17 : 147-154.

Welcomme R. L., 1989 – « Review of the present state of knowledge of fish stocks and fisheries of African rivers ». *In* Dodge (éd.) : *Large River Symposium,* Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106 : 515-532.

Wimpenny R. S., 1934 – The fisheries of Egypt. *Scientific Progress in the Twentieth Century,* London, 29 :210-227.

Youngs W. D., Heimbuch D. G., 1982 – Another consideration of the Morphoedaphic Index. *Trans. Am. Fish. Soc,* 111 : 151-153.

NOTES

1. Morand P., Kodio A., Niaré T., ce volume – « Vers un observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger : méthodes, résultats et enseignements d'un dispositif expérimental ». *In : partie 4.*
2. Mahé G., Bamba F., Orange D., Fofana L., Kuper M., Marieu B., Soumaguel A., Cissé N., ce volume – « Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali) ». *In : partie 2.*
3. Ces enquêtes ont permis l'estimation, d'une part, du nombre de ménages de pêcheurs dans le delta, ventilés par types et par zones, et d'autre part, de leur niveau d'activité et des prises qu'ils réalisent par unité d'effort (Laë et Raffray, 1990 ; Laë *et al.*, 1994 a ; Laë *et al.*, 1994 b).
4. Il faut noter toutefois que la haute valeur prédictive de la série de Koulikoro est en partie due au fait que les débits du Bani ont considérablement diminué depuis 30 ans par rapport à ceux du Niger, ce qui fait qu'aujourd'hui plus de 80 % de l'apport hydrique au delta est originaire du Niger en provenance de Guinée.

AUTEURS

RAYMOND LAË

Halieute. IRD, BP 1386, Dakar, Sénégal, Raymond.Lae@ird.fr

GIL MAHÉ

Hydrologue. IRD, 01 BP 182, Ouagadougou, Burkina-Faso, mahe@hydro.ird.bf

Partie 5. Tribune sur les observatoires environnementaux en zones inondables tropicales

Identification des voies de recherche et d'action pour une gestion durable des ZIT

Didier Orange

1 Durant ces vingt dernières années, la perception des rapports entre gestion de l'eau, gestion des ressources naturelles, environnement naturel, contraintes sociales et économiques a changé fondamentalement (Marino et Simonovic, 2001). Un schéma multicausal des impacts environnementaux faisant intervenir avec une égale importance les facteurs sociaux, économiques et écologiques est maintenant admis. Aussi les politiques de planification retenues durant le siècle dernier ne font plus loi, mais les nouveaux modèles d'organisation sont encore à inventer (Heathcote, 1998 ; Schumann *et al.*, 2001). Mettre en œuvre les connaissances scientifiques et les qualités de l'expertise pour la résolution de problèmes à la fois environnementaux et sociétales est maintenant un défi majeur à l'échelle du monde entier. Une littérature abondante d'origine multiple explore d'ailleurs le sujet (Sdage RMC, 1996 ; Nunes et Augé, 1999 ; Faucheux et Hué, 2000 ; Kalaora et Charles, 2000 ; Dunbar et Acreman, 2001 ; Josselin, 2001 ; Millenium Ecosystem Assessment, 2001 ; Pohl, 2001 ; Temple, 2001 ; Ténière-Buchot, 2001 ; etc.)

2 Dans ce cadre de réflexion très actuel (Martin, 2002), les zones inondables tropicales sont tout particulièrement de nouveaux espaces à développer car plus que tout autre écosystème elles nécessitent une approche systémique pour la réalisation d'aménagement rentable et durable (Roggeri, 1995 ; Petts et Amoros, 1996 ; Acreman et Pirot, 2000 ; Fustec et Lefeuvre, 2000). En effet, la définition d'un projet de développement dans ces milieux déjà largement exploités de façon extensive, souvent non économiquement rentable et par des communautés humaines faisant parties des plus pauvres, fait peur, car elle engage forcément sur le long terme, et les risques sociaux – et donc politiques – sont souvent importants, de même que les investissements lourds. Tout ceci multiplie les risques et remet souvent en cause la viabilité de toute approche non concertée. Aussi les instances internationales préconisent une gestion qui soit capable – au-delà des objectifs habituels de productivité – d'intégrer le maintien d'une certaine qualité de fonctionnement de l'écosystème inondable et de ses multiples usages, démarche dont les mots-clés

pourraient être : observatoire environnemental, gestion intégrée, système d'information, approche concertative.

3 Pour finir ce livre sur la gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales, il nous a semblé intéressant de voir où se situait la recherche dans la démarche de prise de décision en faisant appel à un panel d'interlocuteurs provenant d'horizons divers et tous concernés, pour des raisons souvent différentes, voire opposées, par une gestion efficace ou pour un développement durable – des zones inondables tropicales. Cette tribune, loin d'être exhaustive, donne un tour d'horizon d'expériences réalisées et testées sur le terrain. Ainsi dans cette partie, on s'interroge à partir de cas concrets sur les concepts et outils issus de la recherche et mis à disposition pour construire en milieu tropical des observatoires environnementaux qui puissent réaliser les liens dynamiques entre recherche et développement dans le but de permettre une gestion durable et viable des ressources naturelles renouvelables. On y défend la notion d'observatoire environnemental afin de mobiliser conjointement les personnes ressources de la recherche et du développement.

4 Le texte de Christian Mullon et Serge Garcia ouvre cette tribune sur la valeur et la représentativité de l'information. Ces deux auteurs militent pour un engagement honnête des chercheurs qui doivent d'abord répondre aux questions des acteurs sans jamais oublier que la meilleure connaissance n'implique pas la meilleure décision. Ils proposent une formule de contrat sur de longues périodes entre bailleurs de fonds, organismes scientifiques et opérateurs du développement pour impliquer l'information scientifique dans un cadre économique et rendre ainsi la science utile à la société. Dans ce cadre, la notion d'observatoire environnemental permettant d'allier actions et observations sans causalité ordonnée est défendue. Le réseau Roselt, présenté par Maud Loireau et Jean-Marc d'Herbès, en est un exemple ; en effet, voulant répondre aux besoins d'une information (environnementale, sociologique, économique...) utilisable pour garantir la co-viabilité des systèmes écologiques et socio-économiques, Roselt est un observatoire de surveillance écologique à long terme constitué d'un réseau d'observatoires. La recherche participe alors à l'aide à la décision en permettant la réalisation de scénarios prospectifs mettant en jeu à la fois une interactivité entre usages et ressources et entre décideurs et gestionnaires. Les auteurs insistent aussi beaucoup sur la nécessité d'alimenter en continu la base de données par des informations fiables (donc contrôlées régulièrement). Mamadou Diouf et ses coauteurs présentent un autre observatoire à vocation internationale, Agrhymet créé en 1973 pour soutenir la définition des politiques agricoles nationales en Afrique de l'Ouest. Les auteurs montrent que 40 ans d'existence en font un réseau devenu un référentiel régional de caractérisation des milieux et d'évaluation des dynamiques actuelles. Cette structure supra-nationale a permis la réalisation d'outils prospectifs transférés aux acteurs nationaux.

5 Mais ces deux observatoires sont issus du monde de la recherche et sont surtout à vocation politique et non économique. Le cas de l'Office du Niger au Mali, présenté par Nancoman Keita et ses collaborateurs, met en exergue le besoin d'une gestion concertée de l'ensemble des aménagements concernés par la gestion de l'eau pour ne pas compromettre les perspectives d'un développement économique rentable de la région. En effet, les auteurs plaident pour une mise en commun des informations au sein d'une structure de type « observatoire », afin d'aboutir à la construction d'un outil de planification et à la définition d'un cadre de cohérence basée sur une démarche participative et concertée à l'échelle régionale du bassin versant du fleuve Niger. Cette

présentation souligne le fait que la volonté de maximiser les choix sur le long terme privilégie la mise en œuvre de la science et de l'expertise dans la résolution des problèmes environnementaux consécutifs aux usages et aux attentes des usagers.

6 Didier Orange montre par l'expérience du projet de recherche Gihrex comment la connaissance scientifique et l'utilisation de la modélisation peuvent participer aux processus dynamiques de choix des stratégies d'exploitation raisonnées et raisonnables. Il souligne que le rôle du scientifique est moins de fournir des solutions toutes faites que de contribuer à une approche collaboratrice et de participer activement à la définition des termes du dialogue rendant possible la négociation et l'arbitrage entre intérêts et valeurs, entre long terme et court terme. A l'image des scénarios prospectifs développés comme soutien à la prise de décision, les programmes de planification deviennent des expériences. C'est dans ce sens que l'Agence de bassin du fleuve Niger au Mali a été créée en 2002 ; Alain Gerbe et Seydou Bouaré montrent que cette agence de bassin devra être tout à la fois un outil régional opérationnel et un outil international de liaison, construite sur une structure d'observatoire impliquant les fonctions aussi diverses que : suivi d'indicateurs et construction de bases de données, outil d'évaluation et de coordination, centre de décision, outil financier et diffusion de l'information.

7 Enfin, en continuité avec ces nouvelles dynamiques politiques maliennes liées très largement à la superstructure internationale de l'ABN (Autorité du bassin du Niger) soutenue par les instances internationales, et notamment par le programme hydrologique international de l'Unesco (PHI), Emmanuel Naah (responsable du volet Afrique de ce programme) présente la primauté des zones inondable tropicales au sein du plus grand ensemble climatique planétaire que représente la zone tropicale humide. Il souligne le manque de « bonnes » données sur l'écologie et sur les problèmes à résoudre, et milite très fermement pour la construction sur le long terme de bases de données fiables et interactives.

Conclusion

8 Aujourd'hui, pour répondre au défi de ce nouveau millénaire, la société civile interpelle directement la science pour trouver des modalités de gestion plus performantes et intégrées dans une vision globale de la ressource naturelle renouvelable et de son exploitation durable. Cette demande est associée également à un besoin d'échanges et de dialogues basés sur un réseau dynamique et évolutif de partages de l'information et de discussions. Il n'est donc plus possible, comme par le passé, de dissocier la recherche pour la gestion environnementale de la politique environnementale, car la demande sociale les réunit immanquablement. Du fait que dans une zone inondable tropicale, les paysages et les modes de vie sont très fortement et rapidement conditionnés entre autres par la disponibilité en eau, le moindre aménagement implique très rapidement l'intervention des structures politiques et devient vite un problème de société. C'est ainsi que le niveau national conditionne les possibilités offertes au niveau local ou régional. Le niveau national doit donc se consacrer à la définition de règles de décision qui constitueront les bases d'une charte définissant les contours nécessairement flous d'un observatoire environnemental, lui-même fondé à partir d'une question déterminée qui réunit l'ensemble des acteurs concernés. Ainsi l'espace d'intervention de l'observatoire reste un espace évolutif jamais déterminé une fois pour toute et réalisant toujours une association hybride d'actions directes à court terme et de changements à long terme induits

indirectement. Dans ce cadre, le profane est alors directement interpellé dans le débat scientifique, et la connaissance (savoir et savoir-faire) se trouve placée dans un cadre décisionnel. La prise de décision se faisant nécessairement dans l'action, impliquer la science pour le développement revient donc à placer le chercheur dans l'action au sein d'un collectif diversifié représentatif du système étudié.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Acreman M., Pirot J.-Y., 2000 – « Lignes directrices ». *In* Gepis collectif (éd.) : *Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes,* Gland, Suisse, UICN : 1-6 p.

Dunbar M. J., Acreman M. C, 2001 – « Applied hydro-ecological science for the twenty-first century ». *In* Acreman M. C. (éd.) : *Hydro-ecology : linking hydrology and aquatic ecology,* IAHS publ.,266 : 1-17.

Faucheux S., Hue O, 2000 – Politique environnementale et politique technologique : vers une prospective concertative. *Nature Science Société,* 8 (3) : 31-44.

Fustec E., Lefeuvre J.-C. (éd.), 2000 – *Fonctions et valeurs des zones humides.* Dunod, Paris : 435 p.

Heathcote I. W., 1998 – *Integrated watershed management : principles and practice.* John Wiley and sons, UK, 414 p.

Josselin C, 2001 – *Discours du Ministre délégué à la Coopération pour la journée mondiale de l'eau, 22 mars 2001.* Ministère délégué à la Coopération, Paris.

Kalaora B., 1999 – Global expert : la religion des mots. *Ethnologie française,* 29 (4) : 513-527.

Kalaora B., Charles L, 2000 – Intervention sociologique et développement durable : le cas de la gestion intégrée des zones côtières. *NSS,* 8 (2) : 31-38.

Le Dorlot E., 2001 – Environnement : science, expertise et société. *NSS,* 9 (1) : 71-72.

Marino M. A., Simonovic S. P. (éd.), 2001 – *Integrated water resources management.* IAHS publ., 272, 442 p.

Martin J.-Y. (éd.), 2002 – *Développement durable ?* IRD, 346 p.

Millenium Ecosystem Assessment, 2001 – *Strenghtening capacity to manage ecosystems sustainably for human well-being : purpose, structure and protocols.* Doc. Millenium Ecosystem Assessment, 35 p.

Nunes C, Augé J. I. (éd.), 1999 – *Land-use and land-cover change : implementation strategy.* Global change, IGBP report n° 48, IHDP report n° 10, 125 p.

Petts G. E., Amoros C, 1996 – *Fluvial hydrosystems.* London, Chapman and Hall.

Pohl C, 2001 – How to bridge between natural and social sciences ? *NSS,* 9 (3) : 37-6.

Roggeri H., 1995 – *Zones humides tropicales d'eau douce, guide des connaissances actuelles et de la gestion durable.* Pays-Bas, Kluwer Academic Publ., 510 p.

Schumann A. H., Acreman M. C, Davis R., Marino M. A., Rosbjerg D., Xia Jun (éd.), 2001 – *Regional management of water resources.* IAHS publ., 268, 288 p.

Schultz G. A., 2001 – « Integrated water resources management : the requirements of the European Union, the problem of environmental impact assessment, and implementation of the sustainable development principle ». *In* Marino M. A., Simonovic S. P. (éd.) : *Integrated water resources management,* IAHS publ., 272 : 3-11.

Sdage RMC, 1996 – *Orientations fondamentales, mesures opérationnelles et modalités de mise en œuvre.* Doc.SDAGE du bassin Rhône Méditerranée Corse, Marseille, 74 p :

Temple L, 2001 – L'impact de la recherche sur le développement est-il équitablement évalué ? *Afrique agriculture,* Forum des partenaires, 290 : 61-62.

Ténière-Buchot P.-F., 2001 – Décision, expertise, arbitraire et transparence : éléments d'un développement durable. *Courrier de l'environnement de l'INRA,* 44 : 41-52.

AUTEUR

DIDIER ORANGE

Hydrologue. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France, orange@ird.fr

Quelques questions et propositions sur le montage des observatoires environnementaux

Christian Mullon et Serge Garcia

Communication ?

1 La définition d'un indicateur, la réalisation d'un dispositif permanent de suivi d'un écosystème impliquent l'instauration d'un mode de communication spécifique entre scientifiques et autres acteurs de la mise en place de politiques environnementales. L'expérience aidant, il est possible de considérer que cela ne va pas de soi, que la situation est porteuse de blocages : les uns attendent des réponses ou des engagements que les autres ne peuvent ou ne veulent pas fournir. Notre objectif ici est d'analyser les causes possibles des malentendus constatés et de proposer quelques éléments en faveur d'une meilleure communication entre scientifiques et responsables des politiques environnementales.

2 Il peut être instructif de repenser au principe de handicap proposé par Zahavi et à la fonction de l'ostentatoire dans la communication (Zahavi et Maynard-Smith, 1997). Traitant la question de la fonction de la communication dans un contexte différent, celui de la communication animale, Zahavi considére des situations dans lesquelles l'on communique pour être cru, et dans lesquelles pour être cru par son interlocuteur, il faut prouver, par une dépense ostentatoire, qu'on le désire. Il explique ainsi le paradoxe évolutif des paons : les lois de l'évolution ont permis au paon de continuer à communiquer sa volonté de procréer alors qu'il inflige à sa propre motricité le handicap d'une queue disproportionnée.

3 Puisque les responsables politiques ne semblent pas toujours se retenir en matière de dépense ostentatoire pour l'environnement, il est maintenant difficile pour les scientifiques de ne pas se demander quelle est leur part de responsabilité dans les hiatus de leur communication avec les responsables de politiques environnementales :

manifestent-ils vraiment leur volonté d'être cru en dehors de leur propre communauté ? Sont-ils prêts à prendre le risque d'apparaître faillibles ? Ne se lancent-ils dans des projets de constitution d'indicateurs qu'en fonction des fonds mis à leur disposition à cet effet ? Sont-ils conscients des enjeux de la valorisation de l'information scientifique ? Ont-ils, indépendamment de la demande à laquelle ils prétendent répondre, l'envie de transmettre un message sur la conservation de l'environnement ? Si c'est le cas, quel jeu se joue entre les individus, les chercheurs et leurs institutions en matière de communication avec les autorités politiques : les premiers ne font-ils pas, parfois, preuve de naïveté ?

Les choses ne sont pas simples

4 Il est usuel de justifier les projets visant à la mobilisation, à la capitalisation et à la diffusion de l'information environnementale par un argument d'aide à la prise de décision, en les considérant dans un univers dans lequel des décideurs décident rationnellement en fonction de l'information pertinente dont ils disposent. Il est permis de manifester un certain scepticisme devant cette argumentation et un certain étonnement devant sa persistance. Pourquoi participer à cette mise en scène de la prise de décision, alors qu'elle aboutit à donner un statut officiel à une partie de l'information utilisée ?

5 Une histoire récente illustre pourquoi les choses ne sont pas si simples. Il y a une vingtaine d'années, la ville de Paris et les autres municipalités de la région Ile-de-France entretenaient une association chargée du suivi de la qualité de l'atmosphère dans la région parisienne. Cette association AirParif produisait périodiquement des rapports chiffrés, en général assez alarmistes ; la diffusion de ces rapports était restreinte, leur effet sur la prise de décision des politiques restait limité. A partir de 1990, le ministère de l'Environnement (sous les gouvernements successifs de MM. Rocard à Juppé) éprouvait des difficultés à faire voter un projet de loi sur la question de la qualité de l'air ; ces difficultés étaient attribuées à l'existence de groupes de pression. Au début des années 1990, AirParif constitua un indice synthétique de la qualité de l'air à partir d'un grand nombre de mesures disséminées dans la région parisienne. A partir de 1995, il l'établit chaque jour et le proposa à différents quotidiens nationaux qui le publièrent sous leur rubrique météorologique. Cet indice distinguait six niveaux allant du normal au seuil d'alerte. Pendant quelque temps, cette publication n'eut pas l'écho escompté. Cependant, on commença à en parler dans la presse les premières fois où l'on s'approcha du seuil d'alerte, et s'enclencha alors un mécanisme rapide : un député interpella le gouvernement sur les mesures qu'il comptait prendre, la presse évoqua plus longuement la question, les partis politiques se mirent à en débattre, les usagers furent consultés par sondage ; au bout du compte, le gouvernement fit voter par le parlement le projet de loi sur la qualité de l'air. Maintenant, la circulation automobile est restreinte dans la région parisienne et les grandes villes lorsque les mesures de la qualité de l'air s'avèrent inquiétantes ; et les moyens d'AirParif ont notablement augmenté[1] ; AirParif est devenu une référence en matière d'expertise de la qualité de l'air.

6 Le cas de l'effondrement des stocks de morue au Canada illustre également l'émergence de la question de la communication comme élément clé de la relation entre scientifiques et politiques en matière de gestion de l'environnement. Alors que le système était suivi par des scientifiques de haut niveau, qu'ils avaient mis en place des mécanismes de

gestion sophistiqués, le stock s'est effondré, ce qui a constitué une catastrophe écologique et socio-économique majeure avec de lourdes conséquences politiques.

7 Lorsqu'il a fallu juger de la situation, identifier les responsabilités, il est apparu que devaient être prises en compte tout à la fois l'erreur scientifique (il y en a apparemment eu), l'incertitude inhérente au système due aux variations naturelles du climat, mais aussi la transparence de l'avis scientifique. C'est ce dernier point qui nous intéresse ici. Le public, la profession ont jugé que l'avis fourni l'avait été de manière trop confidentielle, que les avertissements répétés des scientifiques au gouvernement avaient été négligés ? De vieux mémos ont été déterrés. La profession, et surtout les ONG ont demandé que dorénavant l'avis des scientifiques soit publié dans les journaux.

8 Ceci illustre une des facettes du principe de précaution ; il ne doit plus être possible de dire : « je ne savais pas ». Dans un climat marqué par le manque de confiance envers les politiques – supposés enclins à prendre de l'avis scientifique uniquement la part qui les intéresse – et envers les scientifiques – « qui en savent moins que ce qu'ils disent ou pensent » –, il apparaît qu'une recherche systématique de transparence doit permettre un affichage plus clair des responsabilités. Quand le public peut savoir, sait qu'il peut savoir et ce qu'il peut savoir, il peut sévir en cas de manquement ; il n'est plus possible aux politiques de tenir un langage d'irresponsabilité.

Complexes de régulation ?

9 Ces deux exemples soulignent la nécessité d'analyser les projets d'observatoires environnementaux au sein d'organisations complexes impliquant tout à la fois politiques bailleurs de fond, experts scientifiques, usagers, presse, groupes de pression, tous dotés de leurs propres logiques, et de les inscrire au sein de ce que l'on peut appeler un « complexe de régulations ». Bateson (1988) nous a proposé, avec la méthode dite des " *zigzags typologies processus*", une approche simple – et à notre avis efficace – pour analyser les complexes de régulations. Pour illustrer ses propositions, Bateson prend l'exemple de la circulation automobile où l'on distingue plusieurs niveaux de régulation : d'abord celui de l'automobiliste où s'articulent sa perception et ses possibilités d'action (freiner, accélérer, tourner) ; ensuite le niveau du code de la route où s'articulent le guidage des automobilistes (les panneaux et leur signification) et leur contrôle (la répression des infractions) ; enfin le niveau de l'élaboration du code de la route par un mécanisme de contrôle parlementaire. Bateson insiste alors sur la nécessité pour que le système fonctionne correctement que soit instituée une certaine étanchéité entre ces niveaux de régulation, étanchéité qui empêchera l'agent de police d'appuyer directement sur les pédales de l'automobile et le parlementaire d'utiliser le sifflet de l'agent. Il donne des indications précises sur la manière d'articuler des niveaux de régulation distincts et montre l'importance de la prise en compte de temps de régulation radicalement différents à chaque niveau. Le complexe de la circulation automobile trouve son efficacité dans le fait que la conduite automobile est régulée à l'échelle de la seconde, l'application du code de la route à l'échelle de la journée, le contrôle parlementaire à l'échelle de l'année.

10 Ce précepte est simple et évident, au point que l'on se demande pourquoi on se prive de l'employer dans le montage de projet d'observatoires environnementaux qui, comme indiqué plus haut, s'appuient trop souvent sur un schéma de régulation simpliste et où le mélange des genres semble être la règle, où l'on observe les bailleurs de fond qui pilotent

directement les opérateurs, les politiques qui essaient d'influer sur la forme des résultats, les scientifiques qui donnent non pas les éléments propices à la réflexion et à la prise de décision mais les éléments de la décision elle-même. C'est en le concevant au sein d'un complexe de régulation que les scientifiques doivent définir leur rôle dans le montage des observatoires environnementaux, tout en gardant à l'esprit que l'on a circulé avant que soit institué le code de la route et mis en place une police de la circulation.

Régulation : de la perception à l'action ?

11 Le cycle « observation/analyse/décision/action », régulièrement mis en avant pour justifier un projet de dispositif permanent d'observation du milieu naturel, est, en lui-même, problématique. Le physiologiste Bach-y-rita (Bach-y-rita, 1972) a conduit, il y a plus de vingt ans, une expérience exemplaire en la matière. Il a posé un réseau dense d'électrodes sur la poitrine d'un aveugle et a relié ce dispositif à une caméra vidéo, chaque pixel du signal vidéo correspondant à une électrode ; il a présenté à la caméra un certain nombre de figures et essayé de déclencher chez le patient un processus d'apprentissage ; cette première expérience n'a pas eu les résultats escomptés ; les taux de reconnaissance sont restés faibles ; ils sont cependant devenus appréciables lorsque l'on a permis au patient de manipuler lui-même la caméra. L'interprétation de cette expérience est intéressante : le schéma de causalité est inverse : l'information reçue n'est devenue pertinente que comme résultat d'une action[2] ; le cycle mis en jeu n'est pas « observation/analyse/action » ; c'est un couplage entre action et observation qui est à la base du fonctionnement du système. Le cycle effectif est couplage, analyse puis nouveau couplage à un autre niveau. On retrouve l'idée du « principe des zigzags » de Gregory Bateson.

12 La nature de la relation entre information et décision dans le domaine de la mise en place de dispositifs de suivi du milieu en est transformée. Il faut trouver les conditions d'un couplage effectif entre les activités d'observation du milieu, d'analyse des observations, de prise de décision, d'action sur le milieu. Cela revient à trouver les points où action et observation sont pris dans une relation de dépendance, et conduit à observer autant l'action que la réaction et à observer aussi l'observation : on donne alors une importance particulière aux phénomènes observés qui résultent directement des actions également observées. On peut généraliser cette idée d'un couplage entre dispositif d'observation et politique, en associant étroitement un mode d'observation du milieu et un mode de prise de décision sur le milieu, sans ordonner la relation causale. Ainsi on peut se demander :

- qu'est-ce qui est cause et qu'est-ce qui est effet : une politique de population ou un recensement, une politique de gestion des stocks exploités ou un système de statistiques de pêche ?
- pourquoi semble-t-il inscrit dans certains dispositifs qu'ils ne peuvent que conduire à l'inaction ?

Long terme / court terme

13 Considérant que la difficulté d'une politique d'environnement réside dans la nécessité d'articuler des actions à court, moyen et long terme, on doit ainsi se demander, à propos de tout indicateur environnemental, le type d'action qu'il présuppose, et le rythme de la

régulation qu'il implique : comment inscrire dans un indicateur environnemental une volonté politique à long terme ?

14 Détaillons ce point : il s'agit de concilier deux des caractéristiques d'un indicateur. Tout d'abord, un indicateur est supposé simple, facile, rapide à évaluer ; et par la même, implique une décision réflexe, à court terme, associée à des seuils d'alerte. Et en même temps, l'accumulation des valeurs passées d'un indicateur lui donne toute sa signification ; leur analyse permet d'exprimer les caractéristiques de dynamique du système et implique des décisions à plus long terme.

La valeur de l'information environnementale ?

15 Pour aller plus loin dans la définition des rôles respectifs des experts scientifiques, et des autres opérateurs du montage d'un observatoire environnemental, il faut revenir sur la question de la valeur de l'information environnementale.

16 Les projets de montage des observatoires environnementaux se réfèrent souvent aux développements technologiques en cours et à l'émergence de ce que l'on appelle pompeusement « l'économie de l'information ». Remarquons que les turbulences récentes des cours de bourses de ce secteur sont le symbole du désarroi de la théorie économique face à la question de la valeur de l'information. Qu'est-ce qui doit être valorisé, l'information ou le support de communication ? Dans le contexte des observatoires du milieu naturel, le dispositif de gestion d'une base de données ou les informations qu'elle regroupe ?

17 Rappelons d'abord, à propos de l'information environnementale, que si une donnée est le relevé d'un fait, une information est une donnée dotée d'une représentativité, et que la valeur d'une information réside dans une mesure de sa représentativité. On peut concevoir de mesurer la représentativité d'une information selon un principe d'autorité : cette donnée a été obtenue au terme d'un protocole établi et garanti par une déontologie professionnelle ; cela serait la position des experts scientifiques. Il faut également tenir compte d'une façon secondaire de mesurer la représentativité de l'information : c'est parce qu'elle est considérée comme telle par une personne ou un groupe de personnes qu'une information devient représentative pour une autre personne ou un autre groupe de personnes ; cela serait la position des autres acteurs de la gestion de l'environnement.

18 Ce sont les mêmes principes qui jouent en matière journalistique ; en choisissant de présenter une donnée plutôt qu'une autre, un journaliste lui confère une représentativité qui en fait une information. La valeur de cette information, au-delà de sa singularité, de sa plausibilité et de son exemplarité, provient tout autant du code de déontologie auquel est astreint le journaliste que de sa notoriété ou du degré de confiance de son public.

19 Les sources de malentendu, quant à la représentativité d'une information, résident dans la concomitance de ces deux approches (cf. Mullon et Piron, 1998). Il faut se demander :

- comment concilier une définition intrinsèque et une définition extrinsèque de la valeur de l'information environnementale ?
- comment les scientifiques peuvent-ils se faire reconnaître comme ajoutant de la valeur à l'information environnementale ?

Vers une politique globale de l'information environnementale

20 Toutes les remarques et questions précédentes visent à expliciter la complexité des enjeux de la définition d'un indicateur ou du montage d'un observatoire environnemental. Il nous reste à montrer qu'elles peuvent être entendues positivement et aider à la définition d'une politique volontariste en matière d'information environnementale. Nous proposons, en ce qui concerne la mise en place de dispositifs permanents d'observation du milieu naturel dans les pays en développement, de réfléchir à la transformation d'une « *politique de projets* » en une « *politique de données* ». La question est ici celle de la globalisation : il faut en matière d'environnement aborder les problèmes à de nombreuses échelles d'espace et de temps, et zoomer en permanence entre ces différents niveaux de compréhension.

21 Les dispositifs de suivi de l'environnement dans les projets de coopération fonctionnent correctement aux échelles locales et à court terme. De nombreux processus sont connus finement. On sait monter un projet pour des études fines et à court terme ; les dispositifs existent pour les financer. A une échelle plus large et à plus long terme, il y a beaucoup de lacunes dans les données, à la fois dans l'espace et dans le temps. Nous pensons à des problèmes comme celui de la désertification au Sahel ou bien la déforestation du bassin amazonien sur les trente dernières années. Ce sont des phénomènes suivis, étudiés dans le détail depuis longtemps, mais on ne dispose toujours pas d'une vue d'ensemble limitant les incertitudes sur les évolutions en cours. C'est pourtant un souhait couramment exprimé. On peut considérer que la tendance à faire ce que l'on sait faire (des projets à court terme sur un problème précis) y est pour quelque chose, que la phase d'intégration ultérieure est annoncée mais rarement mise en train.

22 On pourrait analyser l'implication des scientifiques dans les projets, leur dispersion en petites équipes, leur dispersion disciplinaire, la rigidité d'une discipline en matière d'échelle... ; en bref, tout ce qui aboutit à ce qu'ils ne trouvent pas toujours leur place dans ces projets, principalement de leur propre fait.

Conclusion

23 Notre proposition consiste à conseiller aux politiques et aux bailleurs de fonds, lorsqu'ils montent un projet de mise en place de dispositifs permanents de mobilisation, de capitalisation et de diffusion de données sur un problème environnemental précis, de mettre l'accent sur la recherche d'indicateurs synthétiques, – c'est ce qu'ils font déjà –, mais de ne plus soutenir, comme aujourd'hui, directement des projets. L'expérience, notamment dans les pays en développement, nous a trop appris la difficulté d'assurer la pérennité de telles structures au-delà de la phase de projet proprement dite.

24 Nous proposons de réfléchir à des formules de contrats entre bailleurs de fonds, organismes scientifiques et opérateurs, sur une longue période (plus de dix ans) prévoyant la fourniture des données nécessaires au calcul d'un indicateur, recueillies selon des protocoles établis et contrôlés par des organismes scientifiques[3]. Une telle politique aurait les avantages de l'inscription dans le long terme, de diminuer le mélange de genres et de positionner les scientifiques comme experts – et non comme opérateurs –,

de remettre les organismes de recherche dans un jeu dont ils risquent de se voir exclus, et enfin de donner à l'information scientifique un cadre de valorisation économique dans le contexte actuel, d'éviter le « n'importe quoi qui menace » et d'anticiper – en quelque sorte de faire de la politique.

25 Pour que cela se mette en place, il faut les conditions suivantes :

- que les bailleurs de fond acceptent de financer de l'accumulation de données sur le long terme ; on peut anticiper de leurs réticences devant une telle proposition ; il est cependant envisageable de trouver la formule de financement qui assure le long terme aux projets d'observatoire environnementaux ; si l'on peut démontrer que l'investissement d'un million de francs peut être plus efficace sur dix ans que sur quatre ans, l'on peut faire confiance à l'imagination financière pour trouver une formule adéquate ;
- que les politiques acceptent en la matière une autonomie des scientifiques : ont-ils le choix dans le contexte de mondialisation ?
- que les scientifiques jouent le jeu : que, tout à la fois, ils se démarquent d'une fonction d'opérateur, et que certains d'entre eux acceptent les grandeurs et servitudes d'une fonction d'expertise ; qu'ils revendiquent leur niveau d'expertise ; qu'ils sachent limiter dans le temps la phase de définition d'un indicateur ; comment peut-on avoir travaillé 20 ans sur un sujet et demander d'emblée de nouvelles études préliminaires pour la mise en place d'un indicateur adapté ? Attention, à trop se défausser, les scientifiques risquent de voir posée la question de leur propre utilité.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bach-y-rita P., 1972 – *Brain mechanism in sensory substitution.* New York, Academic Press.

Bateson G, 1988 – *La matière et la pensée.* Paris, Éditions du Seuil.

Mullon C, Morand P., 1997 – Rapport sur le quatrième atelier régional du PRGIE. Bata, Guinée Équatoriale, 22-24 octobre 1997, Doc. Orstom, Paris.

Million C, Piron M., 1998 – Sur la méthodologie des observatoires environnementaux. Congrès de l'ASU, Carcassonne 1998.

Zahavi A., Maynard-Smith A., 1997 – *The handicap principle : a missing piece of Darwin's puzzle.* Oxford, Oxford University Press.

NOTES

1. Consulter le site Internet d'AirParif : http://www.airparif.asso.fr/airparif

2. John Stewart (Stewart, 1993) a montré combien cette expérience illustrait la théorie de F. Varela de l'énaction ou « pensée en acte ».

3. Pour plus de détails, cf. notre rapport de mission au quatrième atelier régional du PRGIE (Mullon et Morand, 1997).

AUTEURS

CHRISTIAN MULLON

Modélisateur. IRD, University of Cape Town, dep. of Oceanography, 7701 Rondebosh, South-Africa, cmullon@phvsci.uct.ac.za

SERGE GARCIA

Halieute. FAO, Directeur de la division des Ressources halieutiques, Direction de la pêche, Viale delle Terme, di Caracalla, Roma, Italie

Espaces, ressources, usages

Proposition méthodologique pour le suivi de la désertification dans le cadre du réseau Roselt-OSS

Maud Loireau et Jean-Marc d'Herbès

1 Roselt (*Réseau d'observatoires de surveillance environnementale à long terme*) de l'OSS (*Observatoire du Sahara et du Sahel*) est le premier réseau en Afrique qui organise un suivi scientifique et statistique de l'environnement permettant d'une part, de caractériser les causes et les effets de la dégradation des terres et, d'autre part, de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent à la désertification. Face à la complexité de ce phénomène, il est nécessaire de prévoir des méthodes de traitement de l'information permettant d'intégrer des séries de facteurs de nature très diverse, tant d'origine socio-économique que biophysique. Dans la logique de Roselt-OSS, qui est de rendre compte de l'étendue du phénomène de dégradation des terres, trois axes de réflexion méthodologique sont privilégiés : la spatialisation des données à l'échelle des territoires des observatoires, l'extrapolation aux régions représentées par chaque observatoire, enfin la modélisation autorisant la simulation dynamique et prospective.

2 Dans cette perspective, sera exposée ici la démarche actualisée des méthodes et concepts de mise en œuvre d'un système d'information sur l'environnement SIE-Roselt, telle qu'elle a été proposée et approuvée en tant que *charte méthodologique commune du réseau* lors de la réunion de lancement de la deuxième phase opérationnelle de Roselt-OSS en juin 2000 à Bamako (Mali). Cette démarche est issue d'une réflexion entre différents chercheurs et experts et d'une expérience appliquée sur l'observatoire Roselt de Banizoumbou au Niger (Loireaux, 1998).

Roselt et ses objectifs

3 Dispositif régional visant à fournir des données fiables sur la dégradation des terres des zones arides circum-sahariennes et des indicateurs biophysiques et socio-économiques pertinents de la désertification – et d'une manière plus générale, un état de

l'environnement dans les milieux ruraux de la zone OSS –, Roselt se définit à partir de chaque terme qui le constitue :

- *un réseau* : le réseau s'intéresse aux échanges et aux coopérations entre les observatoires eux-mêmes, mais aussi à l'ensemble qu'ils forment et qui est lui-même un observatoire aussi représentatif que possible de la totalité de la zone OSS ;
- *des observatoires* : Roselt est constitué d'un ensemble d'observatoires ; chacun concerne une zone géographique limitée et est défini par ses finalités qui sont doubles : effectuer un suivi (activité scientifique et technique) et produire des résultats facilitant une aide à la décision pour les gestionnaires et responsables du développement (activité opérationnelle) ;
- *une surveillance écologique* : la surveillance est basée sur des séries de mesures et d'observations et, donc sur l'acquisition répétitive de données écologiques au sens large (*i.e.* incluant les données socio-économiques en interaction avec les données écologiques) ; le terme « écologique » de Roselt doit ainsi être considéré comme couvrant tous les aspects de l'environnement et du développement des espaces ruraux (*s.l.*) ; enfin notons que la surveillance écologique est basée sur des mesures de terrain complétées par les données de la télédétection ;
- *le long terme* : l'évolution des systèmes écologiques et agro-écologiques doit être analysée sur des durées suffisamment longues pour en expliciter les mécanismes fonctionnels ; le pas de temps à envisager est de plusieurs décennies ; Roselt fournit également des informations à court et moyen termes.

4 Les deux objectifs majeurs de Roselt consistent à :

- améliorer les connaissances de base sur le fonctionnement et l'évolution à long terme des systèmes écologiques et agro-écologiques et sur la co-viabilité des systèmes écologiques et des systèmes socio-économiques ;
- contribuer à rendre les connaissances utilisables par le regroupement, le traitement des données et leur mise à disposition, par l'identification d'indicateurs et de produits finalisés.

5 Pour ce faire, les pays et organisations qui ont adhéré au concept Roselt, ont assigné des objectifs spécifiques, parmi lesquels :

- l'harmonisation des approches scientifiques pour la surveillance écologique, pour le choix des données et leur mode de recueil, pour leur traitement et pour la restitution de l'information ;
- l'amélioration des connaissances de base en ce qui concerne la surveillance écologique à long terme ;
- le traitement coordonné d'un ensemble de données communes aux observatoires de manière à diffuser périodiquement un état de l'environnement et des indicateurs de l'environnement et de la désertification pour la zone OSS dans son ensemble, pour les sous-régions et pour les pays ;
- l'échange d'information d'une part, entre les pays et, d'autre part, entre les observatoires ;
- la promotion par des actions de terrain, du rapprochement entre la recherche environnementale et les activités de développement ;
- l'aide à la formation des scientifiques et des techniciens ;
- l'aide à l'intégration des pays de la zone OSS dans les stratégies et programmations traitant de l'environnement et du développement durable.

Missions des observatoires Roselt et approche intégrée du SIE

6 Un observatoire est défini techniquement par un système organisé de collecte et de traitements des données sur l'environnement d'une même unité écologique ou agro-écologique. Il correspond à une demande de produits d'aide à la décision, lesquels sont identifiés par les décideurs et gestionnaires des pays, pour un niveau spatial d'intégration donné (unité paysagère, sous-région, région) ; il peut comprendre une ou plusieurs stations (biotopes, écotopes) ou parcelles cultivées, sur lesquelles sont faites des observations générales et/ou spécialisées. Les missions de tous les observatoires du réseau Roselt sont les mêmes, à savoir :

- *missions scientifiques* : dynamique des ressources naturelles, des usages, de la désertification, de la dégradation des terres (interaction ressources / usages), prévisions des évolutions écologiques à long terme, recherches thématiques en réseau, etc. ;
- *missions techniques* : récoltes de données sur le long terme (suivi), traitements des données, restitution de produits (cartes, indicateurs...), d'informations, de scénarios d'évolution pour une aide à la décision, etc. ;
- *missions propres à la mise en réseau* : harmonisation méthodologique, échanges et diffusions d'informations, formations, synthèses régionales.

7 Le SIE-Roselt se veut être un outil, un cadre d'analyse des causes multiples de la désertification sur le long terme qui doit pouvoir répondre à ces diverses missions. Il doit tenir compte à la fois de la diversité des situations dans les différents observatoires labellisés « Roselt-OSS » et de la complexité des interactions entre les systèmes biophysiques et les systèmes socio-économiques à l'origine de la dégradation des terres.

8 Dans la continuité de la première phase qui a proposé un certain nombre d'activités de surveillance et de collectes des données, l'objectif de la deuxième phase opérationnelle du projet est de fournir un cadre systémique global de traitement des informations. A l'heure actuelle, à partir des données recueillies sur l'observatoire de Banizoumbou au Niger durant 4 années (1992-1995), un prototype d'analyse et de traitement des données, le SIEL-Banizoumbou (système d'information sur l'environnement à l'échelle locale), a été élaboré dans le but d'étudier les interactions entre les forces directrices écologiques et socio-économiques déterminant les dynamiques locales et sub-nationales au niveau des écorégions (Loireau, 1998).

Modèle général du SIE-Roselt

9 Les sociétés rurales des zones arides dépendent en grande partie, mais pas uniquement, des ressources renouvelables pour la satisfaction de leurs besoins alimentaires et énergétiques. Ces besoins se traduisent par une utilisation de l'espace et des ressources selon des techniques et une logique spatiale dépendant d'une organisation sociale plus ou moins complexe. Le degré d'intégration ainsi que l'évolution interactive de ces deux processus sont le reflet des relations et adaptations progressives développées entre les différents systèmes, biophysiques et socio-économiques. Tout changement – endogène ou exogène – déterminant des changements d'états à l'intérieur de l'un des systèmes, a des répercussions sur le fonctionnement de l'autre système. Les pressions exercées déterminent des réponses qu'il importe de connaître, d'anticiper, afin de gérer harmonieusement et durablement les relations souvent conflictuelles entre systèmes. La

base de réflexion du réseau Roselt repose sur la dynamique interactive spatiale et temporelle entre usages et ressources.

10 Une ressource ne se définit que par rapport à un (ou plusieurs) usage(s) ou une (ou plusieurs) pratique(s) et réciproquement. L'utilisation des ressources détermine des pratiques et des prélèvements qui vont affecter les ressources et réciproquement. En effet, l'état des ressources à un instant donné peut affecter l'usage qui en est fait par les sociétés. Ce triptyque « ressources/usages/prélèvements » est en évolution continue dans le temps. Son état et son fonctionnement à un moment donné dépendent non seulement de son état et de son fonctionnement l'instant d'avant, mais aussi de l'histoire des facteurs du milieu biophysique à l'échelle géologique et historique (siècle) en interaction avec l'histoire d'utilisation du milieu par l'homme à l'échelle archéologique et historique.

11 Le fonctionnement des systèmes écologiques détermine un niveau de production des ressources. Il est contrôlé par différentes variables (climatiques, morphopédologiques et biologiques) à plusieurs échelles (locale, régionale, continentale, mondiale). Le fonctionnement des systèmes socio-économiques, en passant par une organisation en systèmes de production, caractérise les usages et les pratiques. Il est également contrôlé par différentes variables (démographiques, micro et macro-économiques, ethnologiques, historiques, religieuses...) à plusieurs échelles (locale, nationale, internationale...).

12 Le paysage est considéré comme la résultante observable des séries de facteurs en interaction : les uns issus des systèmes sociaux classiquement associés à des espaces d'organisation « administratifs » ou « coutumiers », les autres issus des systèmes écologiques classiquement associés à des unités spatiales du milieu. Dans l'objectif de comprendre les mécanismes de dégradation du paysage, de connaître la part respective des deux séries de facteurs en interaction sur un même territoire, il est nécessaire de définir et de délimiter des espaces communs et homogènes tant du point de vue biophysique que socio-économique (dits unités spatiales de référence = USR) possédant une stabilité relative dans le temps, sur lesquelles il devient possible d'établir un bilan « ressources/usages ». Pour construire ces USR, il s'agit dans un premier temps de différencier la délimitation d'une part, d'espaces homogènes du point de vue « biophysique » (unités paysagères = UP), d'autre part, d'espaces homogènes du point de vue de la gestion qui en est faite par l'homme (unités de pratiques homogènes = UPH). Les premiers rendent compte du fonctionnement des systèmes écologiques à travers la spatialisation des facteurs biophysiques déterminant un niveau de production des ressources. Les deuxièmes rendent compte du fonctionnement des sociétés à travers la spatialisation des pratiques appliquées par les populations pour exploiter les ressources de leur milieu. Dans un deuxième temps, la confrontation de ces deux plans d'information spatiale détermine les unités spatiales de référence (USR), plus petits communs dénominateurs entre les UP et les UPH (fig. 1). Si l'UP inclut entièrement l'UPH, l'USR est égal à l'UPH et inversement. Tous les cas de figures sont possibles selon la configuration biophysique et socio-économique de la zone. Les simulations font intervenir des variables directrices écologiques (comme par exemple, les précipitations) ou sociales (comme par exemple, la démographie).

Structuration de l'espace pour l'analyse des interactions ressources/usages

Les unités paysagères (UP) : définition et principes généraux de construction

13 Les unités écologiques ou agro-écologiques élémentaires de l'espace rural, exprimées dans la carte d'occupation des terres (COT), forment des mosaïques spatiales récurrentes, dont le motif caractérise les unités paysagères. Celles-ci résultent en définitive d'une proportion déterminée et stable dans le temps d'unités (systèmes écologiques et/ou agrosystèmes) exprimant à la fois les conditions du milieu biophysique et le mode d'utilisation des terres. La diversité des unités paysagères est à la fois fonction des conditions physiques du milieu (types de sol, unités géomorphologiques, micro-climats...), des facteurs biogéographiques (types de formations végétales caractérisées par la combinaison des recouvrements et hauteurs des différentes strates de végétation : herbacées, ligneuses basses et ligneuses hautes, espèces dominantes,...) et des facteurs humains (grands types d'utilisation des terres révélatrices de la pression anthropique : cultivées, non cultivées...). Les combinaisons entre ces différents facteurs ou conditions déterminent le niveau de biodiversité du paysage. La seule organisation spatiale des UP engendre une structure paysagère qui se prête à une analyse spécifique.

14 Le plan spatial des UP constitue un plan d'échantillonnage stratifié servant à positionner des relevés phyto-écologiques. Ceux-ci fournissent le niveau de disponibilité des ressources et préparent l'extrapolation à l'ensemble du territoire de l'observatoire.

15 Les unités paysagères sont des unités spatiales majeures (supra-parcellaire) à l'échelle du km^2, dont les contours sont considérés stables à l'échelle pluri-annuelle. La caractérisation des UP repose ainsi essentiellement sur une cartographie préalable des différents facteurs énoncés ci-dessus dans les observatoires, à une échelle pertinente (supérieure ou égale au 1 : 50 000^e dans la plupart des cas). Leur délimitation peut être réalisée manuellement par contourage sur images aériennes ou satellitales d'ensembles présentant une homogénéité globale pour les critères mentionnés (par exemple, sur des séries chronologiques de photos aériennes, contourage des zones sous l'emprise des cultures et celles hors cultures) ou automatiquement en utilisant des logiciels de traitements d'images satellitales (par exemple, la détermination d'indices moyens de végétation à partir de l'étude de séries chronologiques d'images satellitales Spot).

16 A chaque facteur déterminant correspond une carte thématique et le croisement de ces différentes cartes, à l'aide d'outils SIG, permet de déterminer les UP. Etant donné la multiplicité des critères, des simplifications et/ou des regroupements sont souvent nécessaires afin de définir un nombre d'unités paysagères raisonnables étant donné l'échelle d'étude (entre 10 et 30 classes à l'échelle du 1 : 50 000^e). Ces simplifications découlent d'une expertise supervisée par le thématicien, tenant compte des spécificités locales biophysiques et socio-économiques.

17 Pour la surveillance écologique à long terme, le zonage des UP devrait raisonnablement être remis à jour tous les 5 ou 10 ans si aucun changements brutaux n'a été identifié (par exemple, une grande sécheresse). Il est souhaitable de privilégier, chaque fois que possible, le traitement par images satellitales, la prospection directe sur le terrain étant

justifiée dans tous les cas pour uniquement valider le travail d'interprétation des images satellitales.

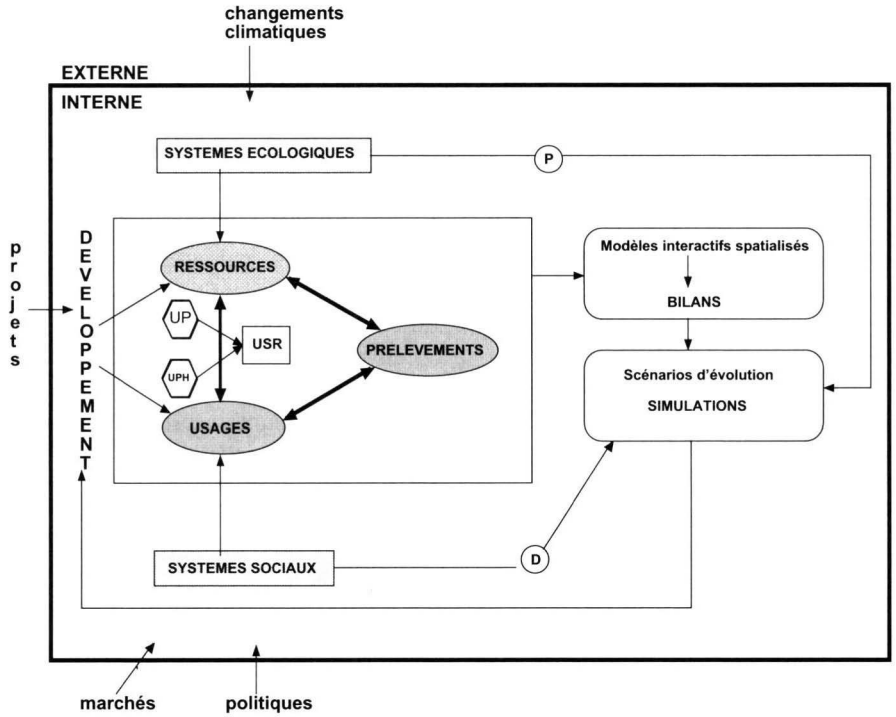


Figure 1. Démarche générale pour l'analyse de relations entre les systèmes biophysiques (écologiques *s.l.*) et socio-économiques (sociaux *s.l.*) à partir de la modélisation des interactions ressources / usages. UP : unités paysagères ; UPH : unité de pratiques homogènes ; USR : unité spatiale de référence ; P : précipitations ; D : démographie.

Les unités de pratiques homogènes (UPH) : définition et principes généraux de construction

18 Les UPH, contrairement aux UP, ne sont pas directement perceptibles dans le paysage. Elles doivent représenter une surface (de l'ordre du km^2) relativement stable dans le temps (décennal) sur laquelle l'utilisation passée et actuelle des ressources par les sociétés est relativement homogène. Afin de les déterminer, la méthode proposée consiste en la spatialisation d'un modèle d'utilisation de l'espace et des ressources. Après avoir identifier les principales activités et les différents types d'usage des ressources renouvelables ayant un impact significatif sur les ressources en terme de quantité prélevée et de surface concernée (par exemple, typiquement en zone sahélienne, les usages agricole, pastoral et forestier), il s'agit d'identifier les pratiques et d'élaborer une typologie des pratiques combinées et, parallèlement, d'établir la nature des relations entre les paramètres déterminants de la distribution spatiale des pratiques afin de définir les règles de spatialisation des pratiques.

19 Afin d'atteindre ces objectifs, un recueil de données basé sur le principe d'un double échantillonnage est proposé selon le schéma suivant :

- *un échantillonnage principal basé sur les types d'exploitations* : il nécessite une approche micro-socio-économique préalable, fondée sur un inventaire des types d'exploitations représentatif des divers groupes sociaux utilisateurs de l'espace en reprenant les variables

classiques des enquêtes sociales (composition sociale et dynamique des unités socio-économiques, organisation du travail, budget d'exploitation, niveau de vie et consommation, etc.) ; à partir d'un échantillon d'exploitations représentatif de la zone, les données sont recueillies par enquêtes agro-économiques sur l'ensemble des parcelles exploitées, elles permettent de déterminer les mécanismes de co-adaptation à la nature et la variabilité des ressources pour satisfaire les besoins d'un groupe d'individus (par type d'exploitation et toutes exploitations confondues) sur un territoire donné, par leurs propres pratiques et stratégies ; l'objectif final du traitement de ces données est la construction de la typologie des pratiques combinées ;

- *un échantillonnage géographique* : il nécessite de pré-identifier les points focaux déterminants dans le gradient d'utilisation des ressources (villages en zone agropastorale, points d'eau en zone pastorale...) ; ensuite, à partir d'un échantillon de points focaux (fonction de leur représentativité des différentes conditions biophysiques et socio-économiques sur l'ensemble du territoire), les données sont recueillies par enquêtes agro-économiques sur les parcelles le long de transects géographiques rayonnants autour de points focaux. Le nombre de transects et leur longueur dépendent de la distribution spatiale des UP autour de ces points ; les données ainsi recueillies permettent de préciser et valider les hypothèses portant sur l'organisation spatiale des pratiques analysées et d'en extraire la logique spatiale globale d'exploitation des ressources par un groupe d'individus, toutes exploitations confondues.

20 A partir de ces règles, un modèle théorique d'utilisation de l'espace et des ressources est conçu puis transcrit en langage informatique pour le développement d'un logiciel de simulation, permettant de dessiner les contours des UPH de manière automatique. Les règles doivent être simples et les informations biophysiques et socio-économiques nécessaires pour paramétrer le modèle doivent être facilement « obtensibles ». L'un des objectifs est en effet de permettre la généralisation à des zones plus vastes, voire à d'autres zones. L'autre objectif est de permettre la reproductibilité pour éventuellement actualiser la structure des UPH, estimée relativement stable sur une durée de 5 à 10 ans sans changements brutaux remarquables. Rappelons ici que les UPH sont ensuite croisées avec les UP afin de déterminer les USR.

Approche par module d'utilisation de l'espace et des ressources et des bilans ressources/usages spatialisés

21 Comme évoqué, dans la plupart des zones arides et semi-arides, le multi-usage de l'espace et des ressources est la règle. Les caractéristiques des unités spatiales de référence (USR) sont donc issues de divers modes d'utilisation, en même temps qu'elles déterminent la nature et la quantité de ressources pour les usages considérés.

22 L'objectif étant d'analyser l'état et l'évolution des USR en fonction de ces différents modes d'utilisation, associés à autant de modes de gestion, une approche analytique par module est privilégiée avant de réaliser un bilan constituant la synthèse des interventions et des prélèvements (fig. 2). Chaque usage est associé à une (des) ressource(s), et leurs relations dans le temps et l'espace sont spécifiques. Dans les zones circum-sahariennes, les modes d'utilisation des ressources dominants, qui déterminent un impact significatif sur le milieu, sont bien identifiés : l'usage agricole pour la céréaliculture pluviale, l'usage pastoral (en relation avec les pratiques d'élevage) et l'usage du bois-énergie (en relation

avec les besoins énergétiques domestiques). Ils semblent communs à la plupart des observatoires Roselt.

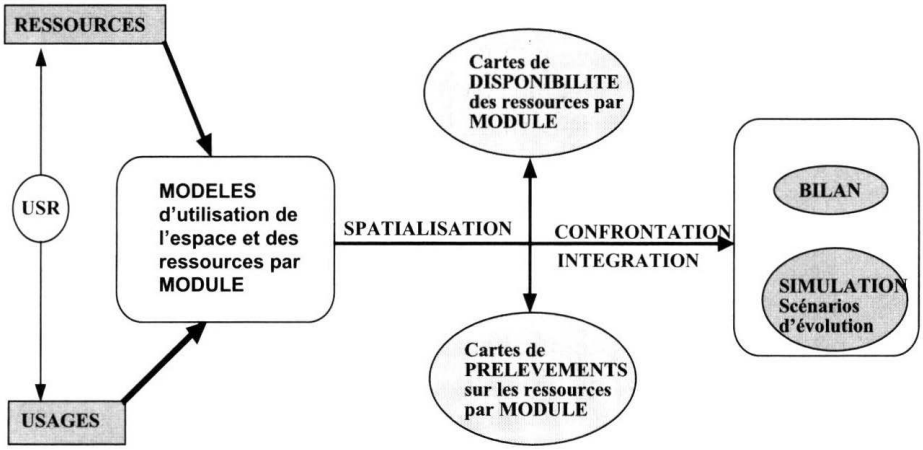


Figure 2. Étapes méthodologiques de l'élaboration des bilans à partir des modèles spatialisés d'utilisation de l'espace et des ressources par module.

23 Pour chaque type d'usage identifié, un modèle d'utilisation de l'espace et des ressources doit être élaboré. Dans le cas général (activités agropastorales imbriquées sur un même espace), un seul modèle sera utilisé pour la représentation spatiale des activités et des pratiques sur l'espace rural, pour la délimitation des UPH, puis des USR. Dans le cas d'espaces fortement différenciés (juxtaposition de périmètres irrigués et d'espaces pastoraux), il sera préférable de construire deux plans d'UPH qui seront ensuite superposés. Le modèle retenu à cet effet est celui qui concerne l'activité humaine qui structure fondamentalement le paysage. Ainsi dans les zones agropastorales sahéliennes, c'est l'activité agricole qui est retenue ; en effet, de la structure du paysage qui en découle (espaces cultivés, en jachères ou hors culture), dépendent en grande partie les autres activités (pastorales et forestières). Dans d'autres zones où l'agriculture pluviale ne peut plus être pratiquée, la structuration de l'espace répond à d'autres composantes, pastorales le plus souvent, qu'il convient d'identifier au cas par cas. Les autres modèles de fonctionnement identifiés sur le territoire de l'observatoire sont reportés sur les USR délimitées et structurées à partir du module « principal ».

24 Le fonctionnement des USR est bien inféré à partir de tous les modèles d'utilisation de l'espace et des ressources établis pour chaque usage identifié, auxquels sont associés une disponibilité et un prélèvement. A partir de la carte des USR, peuvent être établies une carte de disponibilité des ressources et une carte de prélèvements pour chaque type d'usage. La confrontation des deux variables sur les USR permet d'établir un bilan circonstancié dans l'espace et dans le temps pour chaque type d'usage (fig. 1). Ces premiers bilans, dit « modulaires » permettent de localiser les zones d'équilibre ou de déséquilibre entre prélèvements et ressources et, en remontant la chaîne de construction, d'en identifier les causes. Les bilans modulaires sont ensuite confrontés pour établir un bilan global multi-usage sur l'ensemble du territoire de l'observatoire, sur la base spatiale des USR. Ce bilan permet non seulement de rendre compte de l'état du paysage à un instant donné, mais aussi en remontant la chaîne de construction, de connaître la part respective de l'influence des systèmes biophysiques et socio-économiques pour comprendre et interpréter cet état et d'en analyser les effets rétroactifs (feed-back) sur le fonctionnement des systèmes biophysiques.

25 Les bilans modulaires et le bilan global peuvent être construits sur une base annuelle et/ou saisonnière, suivant le degré de précision requis. La délimitation et la structure des UPH et des UP peuvent être *a priori* inchangées sur un pas de temps de 5 à 10 ans (sans changements brutaux identifiés) ; par contre, les quantités de ressources produites par UP et les prélèvements effectués par USR devraient être réajustés annuellement.

Conclusion

Système externe du système d'analyse des interactions ressources/usages et ambitions de l'ensemble du SIE-Roselt

26 Le système d'analyse des interactions ressources/usages décrit jusqu'ici, – et dont le fonctionnement est interne à un niveau d'organisation de l'espace (correspondant au territoire de l'observatoire) –, est en relation avec un système externe qui interfère avec le premier (fig. 1). Parmi les déterminants extérieurs susceptibles d'affecter le fonctionnement interactif, les plus importants sont : la politique nationale (à travers la fiscalité par exemple ou les codes ruraux ou forestiers, les aides au crédit, les incitations et subventions...) et internationale (FMI, Banque mondiale, Convention de lutte contre la désertification...), l'évolution des marchés régionaux (appel de main d'œuvre saisonnière ou pérenne, orientations de productions...), l'intervention des projets de développement, et enfin les changements climatiques aux échelles continentale et planétaire.

27 La modélisation spatiale est nécessaire pour établir un bilan fonctionnel de la situation à un moment donné dans chaque observatoire Roselt, pour déterminer des indicateurs du système global (éco-complexe) et simuler des scénarios d'évolution à partir de la modification des valeurs des paramètres du modèle. L'objectif final, visé à travers le SIE-Roselt, est de comprendre le présent à partir du passé pour prévoir l'avenir. Les scénarios prospectifs sont des outils d'aide à la décision. Les conséquences des interventions réalisées sur le territoire de l'observatoire peuvent être également simulées pour tester leur pertinence.

28 Dans le cadre du suivi écologique à long terme de Roselt, l'ambition de la démarche est à la fois la simulation prospective pour une aide à la décision des décideurs et des gestionnaires du territoire et l'alimentation d'une base de données pour vérifier et affiner les tendances proposées.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

d'Herbès J.-M., Gayte O., Loireau M., 1997 – *SIE-Roselt : bases conceptuelles et organisationnelles pour la création de systèmes d'information sur l'environnement adaptés aux besoins du programme Roselt de*

l'OSS. Développement d'un SIE-Roselt local à partir du territoire de l'observatoire de Banizoumbou (Niger). Doc. Orstom, OSS/IARE, Montpellier.

d'Herbès J.-M., Loireau M., 1998 – « Capacité de charge et usages multiples de l'espace et des ressources ». *In* Hervé D., Langlois M. (éd.) : *Pression sur les ressources et rareté,* Doc. Orstom, Montpellier, 6 : 51-58.

Gayte O., d'Herbès J.-M., Loireau M., 1997 – « Apport de la conception par objet pour l'élaboration des systèmes d'information sur l'environnement. Application au programme Roselt ». *In* Geiger W., Jaeschke A., Rentz O., Simon E., Sprengler Th., Zilliox L., Zundel T. (éd.) : *Conférence européenne sur les technologies de l'information pour l'environnement,* Strasbourg, vol. 1 : 296-305.

Gayte O., Libourel Th., Cheylan J.-P., Lardon S., 1997 – *Méthode de conception des systèmes d'information sur l'environnement.* Paris, Hermès, coll. de Géomatique, 450 p.

Loireau M., 1998 – *Dynamique des paysages sahéliens dans le sud-ouest nigérien : bilan entre productivité du milieu et prélèvements par les populations rurales.* Thèse doct., univ. Paul Valéry, Montpellier.

Loireau M., d'Herbès J.-M., 1997 – « Des unités spatiales de référence pour l'étude de la dynamique des relations ressources-usages dans la zone agropastorale du Sahel nigérien. Régulations démographiques et environnement ». *In* Auclair L., Gubry P., Picouët M., Sandron F. (éd.) : *VIe Journées démographiques de l'Orstom,* Paris, 22-24 septembre 1997, Doc. Orstom, Ceped/ LPE : 45-51.

Loireau M., d'Herbès, J.-M., Gayte O., 1997 – « Modèle de simulation de l'extension spatiale de l'emprise des cultures au Sahel ». *In : Les temps de l'environnement,* PIR-EVS/CNRS, Toulouse, tome 2 : 159-165.

Roselt, 1995 – *Conception, organisation et mise en œuvre de Roselt.* Doc. Orstom, OSS/IARE, Montpellier.

Rumbaugh J., Blaha M., Eddy F., Premerlani W., Lorensen W., 1995 – *OMT, modélisation et conception orientées objet.* Paris, Masson.

AUTEURS

MAUD LOIREAU

Géographe. Cirad, Maison de Télédétection, 500 rue J.F. Breton, 34093 Montpellier cedex 5, France, loireau@teledetection.fr

JEAN-MARC D'HERBÈS

Géographe. IRD, Maison de la télédétection, 500 rue J.F. Breton, 34093 Montpellier cedex 5, France, dherbes@teledetection.fr

Expérience du centre Agrhymet pour le suivi de l'environnement au Sahel

Mamadou Diouf, André Nonguierma et Abou Amani

1 Le centre régional Agrhymet est une institution spécialisée du Cilss (*Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel*). Il a été créé en décembre 1974 et a été défini comme un « outil à vocation régionale spécialisé dans les sciences et techniques applicables aux secteurs du développement agricole, de l'aménagement de l'espace rural et de gestion des ressources naturelles chargé de promouvoir l'information et la formation dans le domaine de l'agro-écologie ». L'objectif majeur du centre Agrhymet est d'assurer différentes veilles – météorologique, agrométéorologique, agricole, phytosanitaire, hydrologique et environnementale – à l'échelle sous-régionale, en développant des méthodologies d'élaboration de produits et en procédant au transfert subséquent des connaissances et du savoir-faire vers les services techniques compétents, regroupés en composantes nationales Agrhymet dans les pays membres du Cilss.

2 Le centre est organisé autour de deux volets complémentaires, formation et information avec des « relais » nationaux constitués par les différents services techniques membres de la composante nationale dans chaque pays. Ces services techniques regroupés au sein du GTP (groupe de travail pluridisciplinaire) jouent un rôle déterminant en ce qui concerne la collecte des données sur le terrain. Ces données sont envoyées régulièrement au centre régional Agrhymet pour les besoins du système d'alerte de suivi de campagne agricole.

Le système de collecte et d'analyse de données pour l'environnement

3 La création du centre régional Agrhymet (à la suite des grandes sécheresses de 1973) visait avant tout à améliorer la base de connaissances sur les potentialités physiques du milieu, la localisation et le suivi des secteurs d'extension de l'activité humaine, l'évaluation et la surveillance continues de l'évolution de certains écosystèmes, le suivi

régulier des conditions de dégradation de l'environnement sahélien. D'abord axé sur des observations de terrain, le centre a progressivement développé un système de suivi des conditions du milieu, aujourd'hui basé sur les nouvelles technologies de l'information : la télédétection et les systèmes d'information géographique. L'objectif général est de développer des mécanismes de diagnostic rapide et à grande échelle sur l'environnement sahélien et de les intégrer dans un plan cohérent d'informations spatialisées et statistiques sur les variations du milieu en vue d'améliorer la gestion et la prise de décision. Le suivi s'effectue sur différents niveaux de perception. Il est basé essentiellement sur la combinaison des données de terrain collectées par les GTP au niveau national et envoyées au centre régional Agrhymet par Internet et les données satellites directement reçues au centre à travers les plates-formes de réception (Météosat et NOAA).

Suivi des conditions climatiques

4 Dans la région intertropicale en général, les variations bioclimatiques cycliques (saisonnières ou annuelles) provoquent des variations sensibles des composantes de l'environnement, tant au niveau spatial que temporel. La célérité de ces modifications s'est particulièrement exacerbée ces dernières années au Sahel et de nombreuses questions apparaissent : quels sont les processus de base qui induisent les changements du système climatique et environnemental ? Comment améliorer l'évaluation des conséquences de ces changements ? Quels outils à développer pour l'observation, le suivi et la prévision des modifications environnementales et climatiques ?

5 Le système de suivi des conditions climatiques du centre régional Agrhymet s'appuie sur un des indicateurs de caractérisation du climat le plus pertinent, la pluviométrie. Durant la campagne agricole, les données pluviométriques enregistrées dans les différents pays sont envoyées à chaque fin de décade par les services météorologiques nationaux au centre Agrhymet. Pour des raisons opérationnelles, ces données pluviométriques ne concernent que quelques stations pluviométriques, généralement les stations synoptiques et climatologiques. Afin d'appréhender la répartition pluviométrique sur l'ensemble de l'espace Cilss, un programme d'estimation combine les données fragmentaires de pluies reçues des pays avec les données satellitales.

6 La procédure d'estimation est basée sur l'évaluation de la température des nuages (valeurs du bilan radiatif dans l'infrarouge thermique). Sur les images Météosat, on détermine d'abord pour chaque pixel le nombre d'occurrences de nuages à sommet froid (le nuage est d'autant plus pluviogène que la température est basse).

7 Puis on établit la corrélation entre les données pluviométriques des stations d'observations au sol et les valeurs d'occurrence de nuages pour les pixels correspondants sur les images Météosat pour déduire des coefficients de spatialisation des valeurs de pluie déterminées sur les images. Le suivi s'effectue à l'intérieur d'une même année (fig. 1a) ou entre plusieurs années (fig. 1b) ou par à rapport à des périodes de référence (fig. 1c).

8 Ce suivi de la situation pluviométrique permet de mettre en exergue des indicateurs comme la longueur de la saison des pluies et l'intensité de variation des cumuls pluviométriques. Une des applications des champs de pluies estimés est leur introduction dans un modèle agrométéorologique de prédiction des rendements. L'information

résultante sert à l'alerte précoce, à pas de temps décadaire, sur l'état de la saison agricole au Sahel.

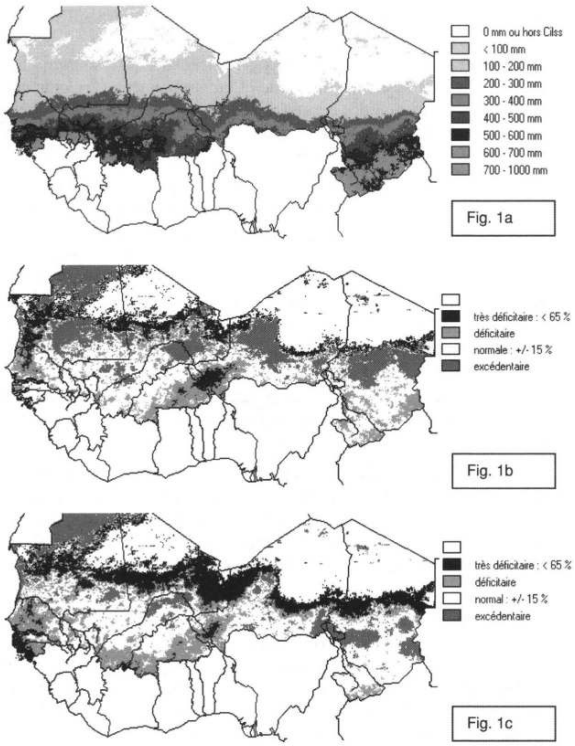


Figure 1. Suivi des conditions climatiques des pays du Cilss par le centre régional Agrhymet : **1A** : pluie cumulée saisonnière entre le 1er mai et le 31 août 1997 ; **1B** : comparaison de la pluie cumulée saisonnière estimée 1997 par rapport à 1996 ; **1C** : comparaison de la pluie cumulée saisonnière estimée 1997 par rapport à la normale 1961-90.

Suivi des ressources en eau

9 Le régime des eaux de surface est un indicateur des fluctuations climatiques – en particulier du degré de sécheresse – et de l'évolution de l'occupation des sols. Pour les ressources en eau, on distingue les suivis des cours d'eau et des plans d'eau. Le suivi des cours d'eau permet la caractérisation des régimes hydrologiques à partir des débits journaliers envoyés chaque mois par les services hydrologiques nationaux pour certaines stations principales du réseau minimal régional de suivi. A l'échelle de l'Afrique de l'Ouest et centrale, le centre Agrhymet, en collaboration avec l'Autorité du bassin du Niger (ABN), coordonne la mise en œuvre de la phase pilote Hycos-AOC, qui est la composante de Whycos (système mondial d'observation du cycle hydrologique de l'OMM) dans cette sous-région. On peut ainsi connaître en temps quasi réel les débits de certains cours d'eau *via* Internet à l'adresse : *http://aochycos.ird.ne.* De plus, le centre Agrhymet coordonne le projet Friend-AOC et contribue à la valorisation de la banque de données hydro-pluviométriques du projet *via* Internet.

10 Pour ce qui des plans d'eau, les méthodes de suivi sont basées sur l'évaluation régulière des plans d'eau au cours de la saison à partir d'images NOAA/AVHRR (LAC). L'étude de la variation dans le temps de la réponse spectrale (brillance composite) permet d'identifier et de suivre les plans d'eau de surface (Silva, 1997).

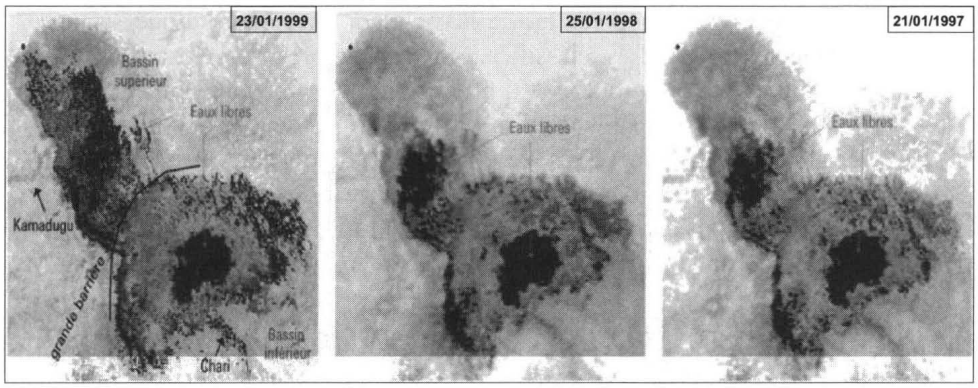


Figure 2. Évolution du lac Tchad vue par satellite.

11 La figure 2 présente un exemple sur les possibilités de suivi du plan d'eau du lac Tchad à partir des images NOAA. Les analyses permettent de déterminer les caractéristiques hydrologiques saisonnières et de les comparer par ailleurs à celles des dates antérieures et aux moyennes interannuelles.

Suivi de la végétation

12 La télédétection offre la possibilité aujourd'hui d'estimer l'importance de la couverture végétale, grâce généralement à la relation entre les indicateurs de densité de végétation, déduite des informations satellitaires (indices de végétation), et le recouvrement réel de la végétation mesurable au sol. En effet, la couverture végétale est évaluée par l'examen des signatures spectrales brutes dans l'infrarouge proche, créneau du spectre dans lequel la réflectance des végétaux est maximale, ou en analysant des valeurs spectrales résultant de la combinaison de plusieurs canaux du type indice de végétation (normalisé).

13 Au centre Agrhymet, le suivi de végétation s'effectue par la caractérisation radiométrique du rythme biologique de la végétation. Il s'agit d'abord, d'une évaluation qualitative des données NOAA (AVHRR) pour comparer la progression des périodes végétatives (généralement de mai à novembre) à l'intérieur d'une année et entre années. Ensuite, des analyses sur des classifications automatiques des images NDVI permettent de montrer le développement potentiel de la végétation au cours d'une saison donnée (fig. 3). Les classifications sont basées sur l'examen des profils d'évolution du NDVI, pris comme classes pour initialiser les traitements. Comparés avec la pluviométrie observée au sol sur les stations synoptiques, les résultats des traitements permettent de montrer les variations de la longueur du cycle de végétation ainsi que l'intensité des changements de la végétation.

Suivi des cultures

14 L'objectif du suivi des cultures est de déterminer de manière fiable l'état des cultures afin d'élaborer des projections sur les rendements attendus. L'utilisation de la télédétection pour l'estimation des rendements s'appuie implicitement sur l'existence de paramètres spectraux mesurables par satellite (exemple du NDVI), étroitement conditionnés par certaines caractéristiques indicatrices de la végétation recouvrant le sol, comme l'indice foliaire, la quantité de biomasse, etc. Le résultat attendu des différentes démarches est de mettre en relation un indicateur du comportement radiométrique avec la phénologie et la

biométrie des productions végétales annuelles, aboutissant à une prévision des rendements. Au Sahel, les méthodologies sont assez récentes, donc limitées. Elles utilisent en général des séries de données NOAA multitemporelles dans une optique d'estimation des productions à un niveau régional. Les obstacles à la généralisation de ces méthodes concernent, outre le coût des images satellitaires, les conditions intrinsèques de l'agriculture traditionnelle sahélienne : faible taille des champs, présence d'arbres préservés dans les champs, mélange des productions, mixité des champs avec les jachères récentes,...

Suivi des pâturages

15 Le paysage sahélien comprend de nombreuses aires de pâturages supportant des activités pastorales sédentaire, transhumante ou nomade. Or l'élevage extensif est un facteur important dans la modification de l'équilibre des écosystèmes dans la zone sahélienne.

16 Le centre Agrhymet a développé en collaboration avec les services nationaux d'élevage un système de suivi des ressources pastorales au Sahel en produisant et diffusant depuis 1989 des cartes d'évolution de la biomasse active à partir des indices de végétation et des observations au sol. A un pas de temps saisonnier, on peut en effet suivre le rythme d'évolution de la biomasse végétale. Ce suivi est d'autant plus intéressant dans les milieux végétaux où la strate herbacée est dominante comme c'est le cas dans la zone pastorale du Sahel. La démarche comporte des observations au sol sur des sites de référence suivis par les services nationaux d'élevage (exemple du CSE au Sénégal, le Ropanat au Tchad ou la Direction de l'élevage au Niger). Des relevés phytosociologiques et des mesures de la biomasse sont effectués régulièrement sur ces sites géo-référencés pour déterminer la productivité fourragère primaire des pâturages et suivre également l'évolution de la composition floristique. Les résultats de ces mesures de terrains sont alors corrélés aux synthèses décadaires ou journalières de NDVI réalisées à partir de la série d'images multitemporelles NOAA en format LAC (pixel de 1 km) aboutissant à une cartographie des productions estimées de biomasse saisonnière. L'information résultante est utilisée par les services d'élevage pour orienter la gestion des pâturages : détermination des aires privilégiées de déplacement de troupeaux en fonction du potentiel pastoral.

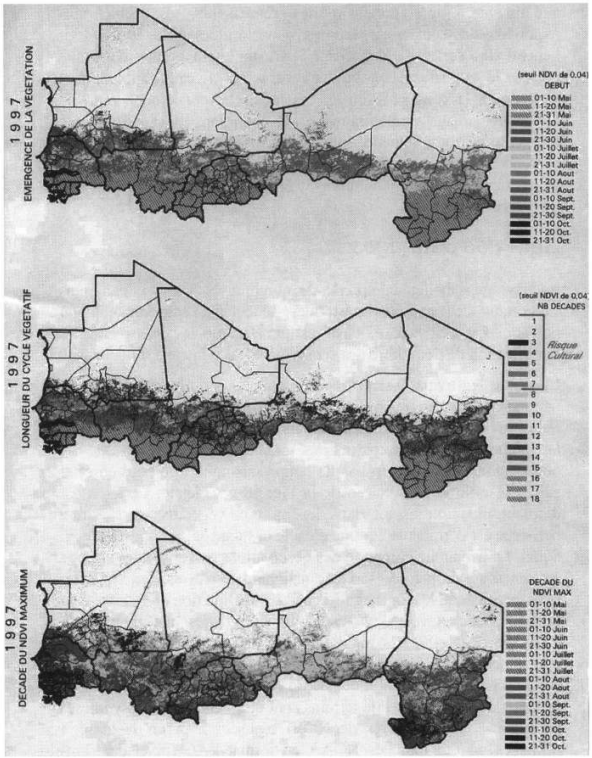


Figure 3. Indicateurs de suivi de la végétation.

Suivi d'indicateurs au niveau local

17 Les études menées à cette échelle permettent de mettre en évidence les tendances, les effets et les interrelations existantes entre les différentes causes qui concourent au processus de dégradation des terres dans les régions arides et semi-arides. Les connaissances ainsi acquises permettent d'identifier et de proposer en temps utile les mesures de correction des effets liés surtout à l'activité humaine.

Suivi de la pression foncière

18 Le centre régional Agrhymet a mis en place un dispositif de suivi des effets environnementaux liés à l'activité humaine. Ces dispositifs comportent notamment des études sur la pression foncière (agricole et pastorale) sur les zones forestières. En s'appuyant sur l'exemple d'une forêt dite classée au sud du Niger (forêt de Baban Rafi), on peut mesurer l'impact de la pression des communautés rurales organisées autour de cette ressource naturelle exploitée par l'homme (fig. 4).

19 La dégradation de cette ressource végétale est expliquée principalement par l'exacerbation de l'effet conjugué de trois facteurs liés à l'activité humaine :

- l'intensification des activités d'exploitation de bois de chauffe ;
- le surpâturage ;
- l'extension des superficies cultivées.

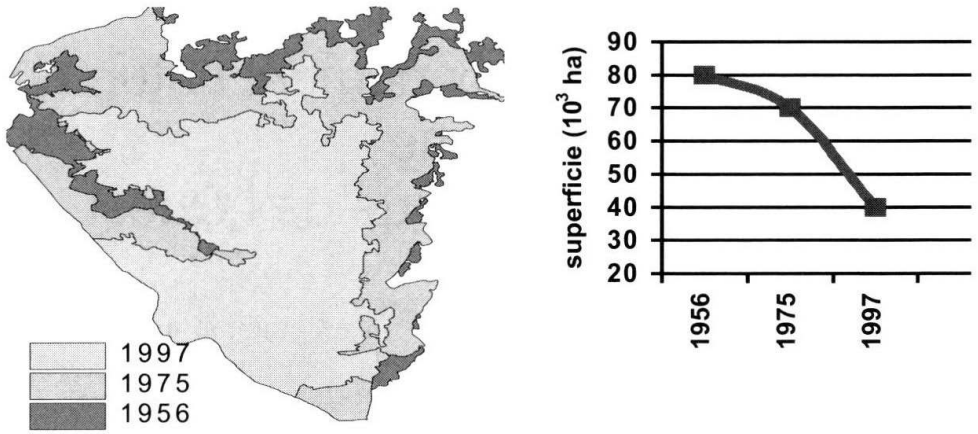


Figure 4. Évolution de la superficie de la forêt de Baban Rafi (Sud Niger) entre 1956 et 1997.

Suivi des terroirs

20 Le système est basé sur le suivi des processus de dégradation des terres au niveau des terroirs. Dans cette optique, le centre développe depuis quelques années en collaboration avec les services techniques et les projets de développement du Niger la technique de la vidéographie aérienne pour le suivi/évaluation des terres soumises à la dégradation.

21 Le système comporte :

- une évaluation comparée de la végétation dans des zones cibles aménagées et non aménagées à partir d'indicateurs (recouvrement, densité du recrû herbacé ou ligneux mesuré et cartographié à partir d'images vidéographiques) ;
- des mesures des variations de l'occupation du sol (extension ou régression des surfaces cultivées après aménagement) et corrélation avec les rendements estimés ;
- une évaluation de la dynamique édaphologique dans les terroirs, étayée par des observations au sol (phénomènes d'érosion, de colluvionnement, de sédimentation) ;
- un suivi de l'impact des aménagements de récupération des terres dégradées.

Perspectives : inventaire, évaluation et suivi de l'environnement naturel et socio-économique au Sahel et en Afrique de l'Ouest

22 Le centre régional Agrhymet a initié un programme intégré pour détecter, suivre et aider à comprendre la nature et la célérité des modifications de l'environnement global en Afrique de l'Ouest. L'initiative dans le cadre de ce programme d'inventaire vise à rassembler le maximum d'informations précises sur les ressources naturelles pour en améliorer la gestion. Par sa vision exhaustive et sa dimension géographique, le programme doit permettre à toute la sous-région de mieux articuler les futures activités dans le domaine de la gestion des ressources naturelles et de la lutte contre la désertification, en proposant aux parties prenantes un cadre cohérent d'action pour le moyen et long termes.

23 D'abord, le programme permet aux États d'accéder à toute l'information disponible sur les ressources naturelles et les aspects socio-économiques et démographiques ; ensuite, il permet de fédérer et d'impulser les énergies existantes à l'intérieur des pays et entre les

pays, notamment au niveau sous-régional grâce à sa structure et son organisation. Enfin, il propose une trame technologique et thématique sur laquelle d'autres actions pourront venir se raccorder de manière cohérente, en particulier sur le réseau des sites de l'observatoire de l'environnement.

24 L'initiative dans le cadre de ce projet d'inventaire vise donc à rassembler le maximum d'informations précises sur les ressources naturelles dans la sous-région pour en améliorer la gestion. L'intervention du projet se fera autour des grands axes suivants :

- l'inventaire complet de l'existant au Sahel des actions réalisées aux niveaux national et régional en matière de gestion des ressources naturelles et de suivi de l'environnement, aboutissant à une meilleure connaissance des potentialités physiques du milieu ;
- la collecte et l'acquisition des informations et des données disponibles pour constituer une centrale d'information régionale au centre Agrhymet, indispensable pour l'évaluation et la surveillance continues de l'évolution de certains écosystèmes.

25 Les résultats attendus du projet sont :

- un référentiel cartographique de l'occupation du sol et de l'utilisation des terres aux niveaux national et régional ;
- des systèmes nationaux et un système régional opérationnel de banques de données de base pour la gestion et le suivi des ressources naturelles et de l'environnement ;
- le renforcement des capacités nationales et régionales pour la mise à jour et l'exploitation du système de banque de données de base ;
- un réseau d'observation permanent pour le suivi et la surveillance des différents écosystèmes au Sahel ;
- la diffusion et l'intégration dans les processus décisionnels des produits issus de l'exploitation des banques de données.

Conclusion

26 Le centre régional Agrhymet développe depuis sa création en 1973 la recherche d'informations précises et fiables et un système d'information intégré pour détecter, suivre et aider à comprendre la nature et la célérité des modifications de l'environnement sahélien. Le système est basé sur différents niveaux de perception qui font largement appel aux nouvelles technologies de l'information. En plus des exemples présentés brièvement ici, plusieurs expériences sont en cours et devraient permettre à terme d'améliorer la base de connaissances sur les potentialités physiques du milieu, la localisation et le suivi des secteurs d'extension de l'activité anthropique, l'évaluation et la surveillance continues de l'évolution des écosystèmes. Après plus de deux décennies de partenariat multilatéral scientifique et technique, les acquis sont significatifs. L'utilisation des nouvelles technologies de l'information (télédétection, système d'information géographique) et de la communication (Internet) pour compléter le dispositif de collecte de données au sol (renforcement des réseaux d'observation météorologiques, hydrologiques, écologiques et d'enquêtes agropastorales et de statistique) a déjà permis des connaissances avérées sur l'état du climat et des ressources en eau de surface au Sahel. L'étude des variations d'occupation de l'espace et d'utilisation des terres au cours des quarante dernières années permettra de connaître les déterminants essentiels et les modes de valorisation des ressources naturelles par certaines populations sahéliennes des zones tests. Le transfert progressif de ces nouveaux outils aux acteurs nationaux et sous-régionaux au travers de formations-actions

permettra également d'accélérer et de faciliter le développement de systèmes d'information spatialisés sur les différents compartiments sol, eau, végétation et population de l'environnement naturel et socio-économique.

27 Deux axes d'intervention du centre régional Agrhymet sont à privilégier dans le futur : d'une part, constituer un référentiel régional d'évaluation et de caractérisation de l'état des ressources naturelles et de l'environnement au Sahel et surtout de la désertification (état des lieux, cartographie de base), et d'autre part, le suivi et l'évaluation des dynamiques d'évolution actuelle des écosystèmes sahéliens.

AUTEURS

MAMADOU DIOUF

Directeur général Agrhymet. centre régional Agrhymet, Directeur Général, BP 11011, Niamey, Niger

ANDRÉ NONGUIERMA

Télédetecteur. Centre régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger, nonguierma@sahel.agrhymet.ne

ABOU AMANI

Hydrologue. Centre régional Agrhymet, BP 11011, Niamey, Niger, amani@sahel.agrhymet.ne

Extension de la zone aménagée de l'Office du Niger

Exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles au service d'un enjeu national de développement

Nancoman Keita, Jean-Francois Bélières et Souleymane Sidibé

1 La zone de l'Office du Niger au Mali est un site extrêmement favorable pour le développement de l'irrigation. Les conditions morphopédologiques de cette partie du delta intérieur du Niger font qu'environ un million d'hectares sont potentiellement irrigables par gravité à partir du barrage de Markala (fig. 1). La ressource en eau dans le fleuve est, tout au moins pendant une période de l'année, très importante. L'aménagement et la mise en valeur de cette zone constituent donc un véritable atout de développement socio-économique pour le Mali, et dans le cadre de l'intégration économique régionale, pour toute la sous-région.

2 Après plusieurs décennies de stagnation, l'agriculture irriguée dans cette zone connaît une forte croissance liée à une intensification des productions (riziculture et cultures maraîchères) et au développement de nombreuses activités économiques induites telles que l'élevage, la pêche, l'exploitation du bois, la transformation des produits agricoles, etc. L'ensemble du domaine aménagé irrigué par gravité à partir du barrage de Markala est aujourd'hui mis en valeur et son extension constitue une des priorités de développement du gouvernement malien.

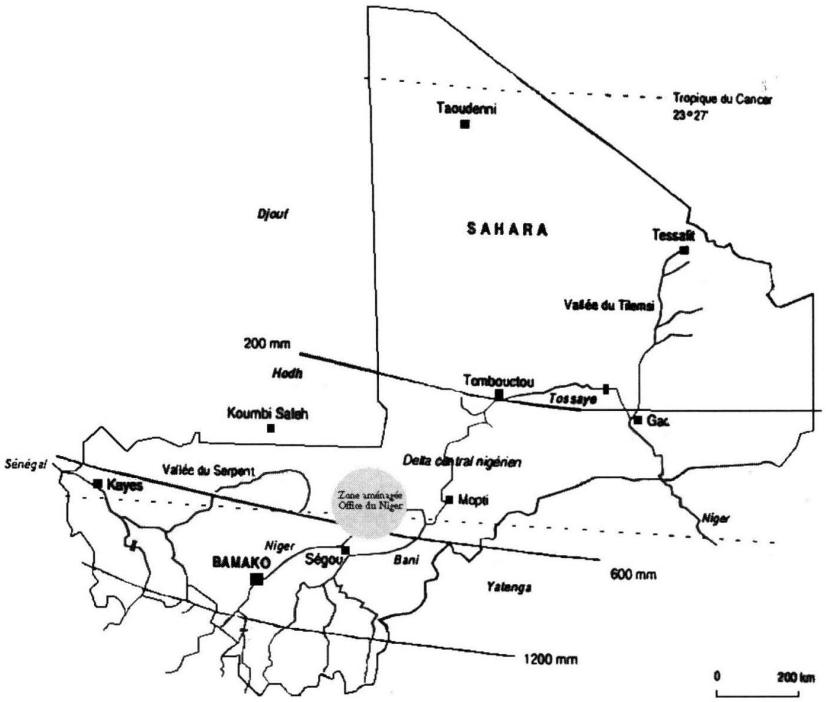


Figure 1. Localisation de l'Office du Niger au Mali.

3 Le développement de la zone de l'Office du Niger va entraîner une mobilisation croissante des ressources et en particulier de la ressource en eau. Dans le cadre d'un aménagement progressif et raisonné au niveau de l'ensemble du bassin du fleuve Niger et d'une gestion concertée des ouvrages, cette ressource doit être largement suffisante pour à la fois permettre le développement de la zone et assurer les besoins en amont et en aval. Pour s'assurer de la durabilité du développement mis en œuvre, les actions engagées par l'Office du Niger (programme de suivi environnemental et schéma directeur de développement) vont dans le sens d'une meilleure prise en compte et d'un suivi des principales ressources et de leurs utilisations en collaboration et en concertation avec les différents acteurs concernés. Autant d'éléments qui plaident en faveur d'une mise en commun des informations au sein d'un observatoire chargé de collecter, centraliser, stocker, mettre à disposition, analyser et diffuser ces informations environnementales pour favoriser « *une gestion intégrée des ressources naturelles dans le delta intérieur du Niger* ».

L'Office du Niger : données physiques et performances technico-économiques

Brefs rappels historiques

4 L'Office du Niger est l'un des plus anciens et des plus étendus périmètres irrigués de l'Afrique de l'Ouest. Aménagé à partir des années 1930 dans le delta intérieur du fleuve Niger, il devait devenir, selon les premiers projets élaborés, le principal fournisseur de coton des industries textiles de la France coloniale, le grenier à riz de l'Afrique de l'Ouest et un lieu d'innovations techniques et sociales (Jamin, 1994). Les objectifs étaient ambitieux avec près d'un million d'hectares à aménager en 50 ans et les grands ouvrages

ont été conçus et construits pour y répondre. Mais les réalisations sont restées bien en deçà des objectifs avec en 1960/61 environ 45 000 ha aménagés dont seulement 82 % cultivés. Au début des années 80, la situation restait toujours très inférieure aux résultats attendus : les superficies aménagées ne dépassaient pas les 50 000 ha, la culture du cotonnier avait été un échec et abandonnée en 1970, les aménagements étaient dans un état de dégradation avancé, la situation économique et sociale des exploitants n'était pas bonne. Le gouvernement malien décida alors de consolider l'existant et d'accorder la priorité à la réhabilitation des casiers pour intensifier la production rizicole et ainsi contribuer aux objectifs d'autosuffisance alimentaire du pays.

5 A partir de cette période, des mesures économiques et institutionnelles furent prises pour relancer la production avec notamment l'abolition de la police économique en 1984 et la responsabilisation des producteurs avec la mise en place des associations villageoises, le relèvement du prix administré du paddy, la libération du commerce du paddy en 1986, la restructuration et le désengagement des activités productives et commerciales de l'Office du Niger (de 1988 à 1994) et la signature du premier contrat-plan entre l'Etat, l'Office du Niger et les exploitants agricoles (en fin 1995). Enfin, la dévaluation du franc CFA en 1994 a amélioré la rentabilité et la compétitivité de la filière rizicole locale (Baris *et al.*, 1996 ; Mariko *et al.*, 1999 ; Mendez del Villar *et al.*, 1995).

6 Alors que la situation était jugée catastrophique au début des années 1980, la zone de l'Office du Niger est aujourd'hui en pleine expansion économique et s'est engagée dans un processus de réflexion pour la mise en œuvre d'un développement durable.

La zone de l'Office du Niger

7 La zone de l'Office du Niger[1] (fig. 2) comprend huit systèmes hydrauliques correspondant aux zones dominées par le barrage de Markala et donc potentiellement irrigables par gravité (environ 1 million d'hectares) ainsi que leur zone d'influence. La surface totale cartographiée dans le cadre de l'étude du schéma directeur est d'un peu plus de 2,8 millions d'hectares, dont près de 68 % couverts par les huit systèmes (Sogréah-BCEOM-Betico, 1999).

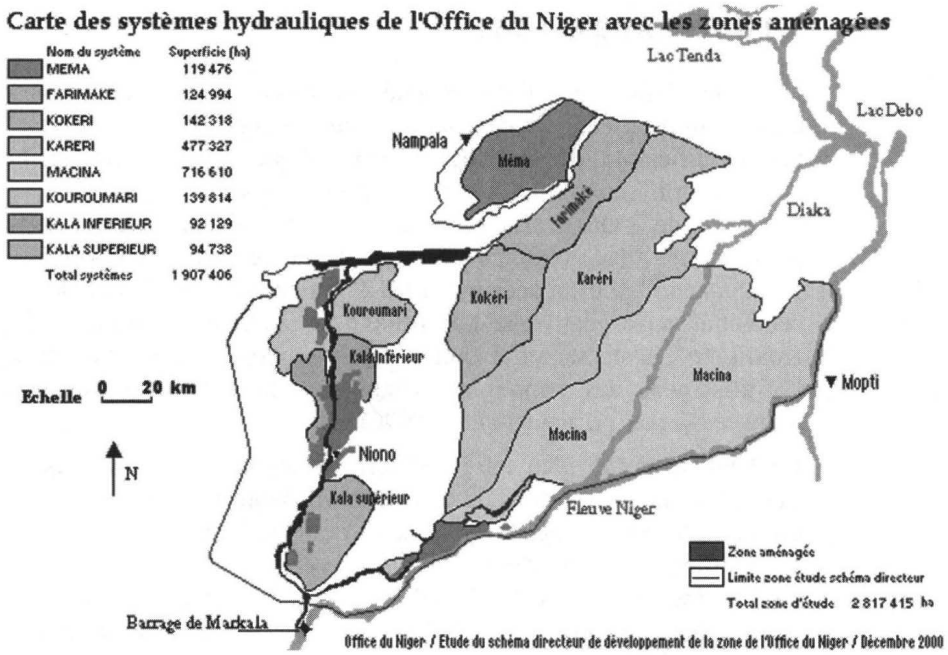


Figure 2. La zone de l'Office du Niger avec ses huit systèmes hydrauliques.

8 Dans cette zone, la pluviométrie annuelle moyenne pour ces trente dernières années est comprise entre 612 mm à Ségou (Sud-Ouest) et 321 mm à Toguéré Koumbé (Nord-Est), soit un très fort gradient caractérisant des situations où l'agriculture pluviale est assez peu risquée jusqu'à très aléatoire.

9 La population totale était d'environ 500 000 personnes en 1998 inégalement réparties selon les zones avec des pointes de densité relativement élevées puisque dans le système hydraulique du Kala inférieur la densité était de l'ordre de 100 hb km^{-2} en 1998.

10 Les études morphopédologiques ont montré que les sols sont disponibles en quantités et en qualité pour l'irrigation aussi bien pour la riziculture que la polyculture dans l'ensemble des huit systèmes hydrauliques. Il n'y a donc pas de contrainte du point de vue des sols, sauf d'évaluer le coût d'amenée de l'eau jusqu'à ces surfaces (Sogréah-BCEOM-Betico, 1999).

La ressource en eau

11 La zone Office du Niger dépend du fleuve Niger pour son alimentation en eau. Or celui-ci a connu au cours de ces années une modification de son régime hydraulique en relation avec l'aggravation du déficit pluviométrique observé dans toute l'Afrique de l'Ouest. La tendance à la baisse continue de la pluviométrie (de 1 600 mm an^{-1} lors de la décennie 1951-60 à 1 300 mm an^{-1} pour la décennie 1981-90) a entraîné une baisse des écoulements (respectivement de 1 800 $m^3 s^{-1}$ à 800 $m^3 s^{-1}$ mesurés à Koulikoro [2]) avec un effet amplificateur important expliqué par l'affaissement des nappes consécutif à une longue séquence d'années sèches (Bricquet *et al.*, 1996).

12 Le débit naturel du fleuve à Koulikoro (en amont de Markala) est très faible durant les mois de mars et avril (tableau 1). La gestion du barrage de Sélingué (en amont de Koulikoro) permet un soutient important des débits à l'étiage avec des apports mensuels

moyens (sur la période 1992-1996) de 60 à 100 $m^3 s^{-1}$ de mars à juin (Kuper *et al.*, ce volume)[3]. Ainsi le débit disponible à Markala durant la période d'étiage est supérieur à 80 $m^3 s^{-1}$ en moyenne. Les prélèvements moyens de l'Office du Niger sur le débit à Markala (avec une période de retour de un an sur deux) pour la période 1982 à 1997 varient entre 3 % en période de crue à 74 % au mois de mars (tableau 1). En année décennale sèche, ces prélèvements représentent 4 % du débit du mois de septembre mais la totalité des débits pour les mois de février, mars et mai.

13 L'analyse de la disponibilité en eau du système « Office du Niger / fleuve Niger » met en évidence les limites de la ressource en étiage. Or cette période correspond à la période de culture de contre-saison et au démarrage des travaux agricoles de la saison hivernale (Kuper *et al.*, *ibid.).* En période hivernale, les débits sont très importants. De plus, cette analyse ne prend pas compte les éventuels besoins en eau de l'aval du barrage de Markala. En effet, il n'existe aujourd'hui aucune clé de répartition précise sur l'utilisation des eaux à Markala. Cette question ne peut être traitée qu'à un niveau national et international. Vis-à-vis de la ressource, une gestion concertée apparaît aujourd'hui indispensable. Les problèmes rencontrés durant l'étiage de 1999 en montrent l'urgence. Durant cette période, les débits insuffisants à Markala en raison d'une gestion de Sélingué répondant en priorité aux besoins électriques ont conduit l'Office du Niger à prélever la totalité de l'eau s'écoulant dans le fleuve pendant quelques jours, sans connaître les besoins aval, pour faire face aux besoins des cultures engagées, et à demander aux producteurs de retarder le démarrage de la saison avec les risques que cela pouvait entraîner pour les rendements (Kuper *et al.*, *ibid.* ; Office du Niger, 1999).

Tableau 1. Détermination des débits mensuels à Markala (en $m^3 s^{-1}$) calculés pour une période de retour de 2 ans (sur la période de base 1957-1996).

Période de retour 2 ans	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Débit naturel à Koulikoro	230	127	64	44	74	204	792	2 525	4 373	3 299	1 475	570
Influence Sélingué	32	33	64	101	77	102	30	-357	-378	-87	-26	33
Prélèv^{ts} Koulikoro-Markala	12	11	11	10	5	1	5	0	5	11	18	24
Evapo. amont Markala	27	30	37	38	38	31	24	20	19	23	26	25
Débits moyen Markala	223	119	80	97	108	274	793	2 148	3 971	3 178	1 405	554
Prélèv^{ts} Markala 1982-1997	55	55	59	62	79	82	72	85	124	127	98	55
Part sur débit moyen	25%	46%	74%	64%	73%	30%	9%	4%	3%	4%	7%	10%
Part sur débit de soutien Sélingué	173 %	167 %	92 %	62 %	102 %	80 %						167 %

Source : SERP/ON pour l'étude environnementale.

Superficies aménagées et infrastructures existantes

14 Lors des premiers plans établis au début des années 1930, le barrage et les ouvrages de base ont été conçus pour permettre l'irrigation de 960 000 ha, dont 510 000 ha de coton et 460 000 ha de riz. De nombreux ouvrages de base restent cependant à réaliser par rapport au projet initial comme par exemple le canal de Dioura pour l'irrigation du delta central. Au tout début de l'année 2000, les superficies aménagées irriguées à partir du barrage de Markala sont estimées à environ 74 000 ha dont : 55 576 ha de casiers de l'Office du Niger (dont 44 % ont été réhabilités), 1 585 ha de nouveaux casiers de l'Office du Niger (Bewani et Ké-Macina), 5 806 ha de casiers gérés par la société agro-industrielle « Sukala » (périmètres sucriers), 3 000 ha aménagés pour la submersion contrôlée et gérés par l'Office Riz Ségou (ORS) et environ 8 000 ha de périmètres aménagés hors des casiers de l'Office du Niger (dont près de 1 000 ha améliorés récemment).

15 Les ouvrages de base (barrage de Markala, les ouvrages des points A, B et C, les déversoirs, l'écluse de Thio, etc.)[4] sont généralement en bon état car récemment réhabilités ou nouvellement construits, cependant l'état de dégradation des digues des deux falas et l'envahissement par les jacinthes d'eau, les typhas et autres végétaux constituent des menaces pour l'irrigation[5].

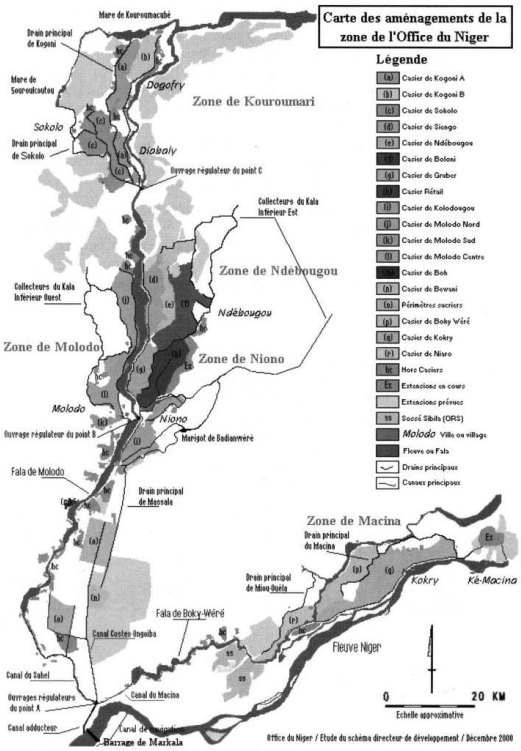


Figure 3. La zone aménagée avec les extensions prévues.

16 Le tableau 2 résume la capacité des canaux dans leur état actuel. A partir du débit maximal des grands canaux diminué des pertes estimées, on peut déterminer la superficie irrigable pour des débits d'équipement exprimés en litres par seconde. Avec un débit d'équipement de 2,4 1 s^{-1} ha^{-1} correspondant à la norme utilisée actuellement à l'Office du Niger pour la planification des aménagements, les superficies irrigables à partir du canal

adducteur sont de l'ordre de 83 000 ha. Pour les trois grands réseaux (Sahel, Macina et Costes-Ongoïba), les superficies irrigables sont de l'ordre de seulement 60 000 ha.

17 Or, aujourd'hui la superficie totale aménagée (casiers, hors casiers et périmètre ORS) est déjà d'environ de 74 000 ha. Même si la norme de 2,4 1 s^{-1} ha^{-1} est trop forte par rapport à la pratique[6], la capacité du réseau apparaît tout de même comme une des contraintes à lever pour une extension importante des superficies irrigables.

Tableau 2. Capacité des grands canaux et superficies potentiellement irrigables selon des débits d'équipement de 2,4 l s^{-1} par ha.

Réseaux principaux	Q maximal (m^3 s^{-1})	Pertes (m^3 s^{-1})	Débit disponible (m^3 s^{-1})	Superficies irrigables avec 2,4 l s^{-1} par ha (ha)
Canal adducteur	200		200	83 333
Canal Sahel et fala de Molodo	100	10,0	90,0	37 500
Canal Macina et fala de Boki Wére	50	2,5	47,5	19 792
Canal Costes-Ongoïba	13	5,0	8,0	3 333
Ensemble des trois réseaux			145,5	60 625

Aperçu des dynamiques de développement en cours

Évolution des superficies cultivées

18 La superficie cultivée annuelle a nettement progressé au cours de ces treize dernières années, plus de 37 % sur la période (fig. 4). L'augmentation des superficies en riz (plus 27 %) résulte des récupérations de terres lors des réhabilitations, des extensions et du développement des hors casiers et de la culture de contre-saison. On notera que les superficies en hors casiers fluctuent fortement et que la culture de contre-saison est restée marginale ne dépassant jamais 3,5 % de la superficie cultivée annuellement. Le développement des autres cultures, et tout particulièrement du maraîchage avec la culture des échalotes, a été rapide ; les superficies atteignent aujourd'hui environ de 8 % du total (6 % pour les seules cultures maraîchères).

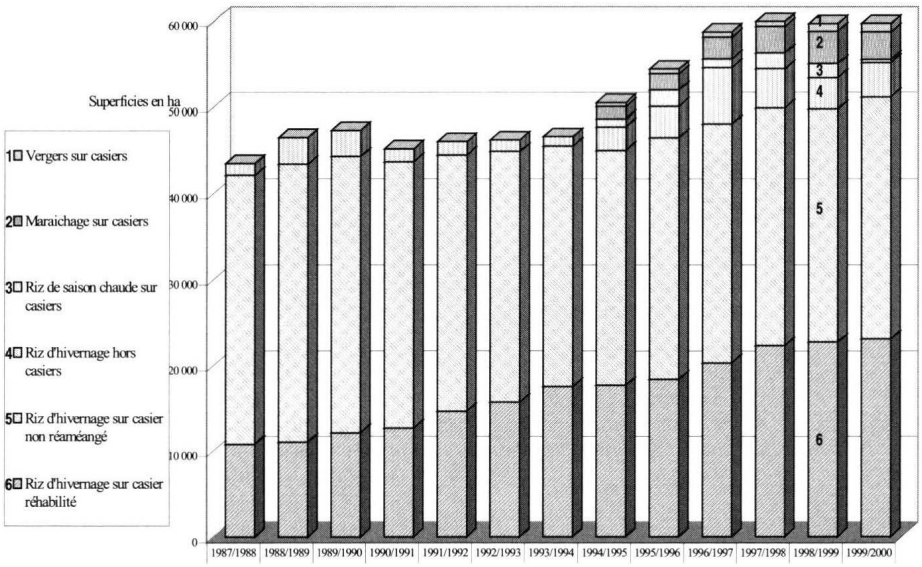


Figure 4. Évolution des superficies cultivées par type d'aménagement, par saison et par culture à l'Office du Niger.

Évolution des rendements et de la production de riz

19 L'évolution la plus spectaculaire est l'intensification de la production agricole irriguée avec une augmentation constante des rendements en riz depuis plus de dix ans. Comme le montre la figure 5 établie à partir des bilans de campagne de l'Office du Niger, le rendement moyen est passé de 2,3 t ha^{-1} en 1987/88 à 5,8 t ha^{-1} en 1999/00, soit une augmentation de l'ordre de 300 kg de paddy tous les ans. Elle a été obtenue grâce à l'évolution des pratiques culturales : repiquage, utilisation des engrais minéraux et de la fumure organique, variétés plus performantes, mais aussi grâce à une meilleure maîtrise de l'eau et à la libéralisation de la transformation et de la commercialisation. On notera

que cette augmentation est presque aussi importante sur les aménagements non réhabilités (265 kg ha^{-1} an^{-1}) que sur les aménagements réhabilités (358 kg ha^{-1} an^{-1}).

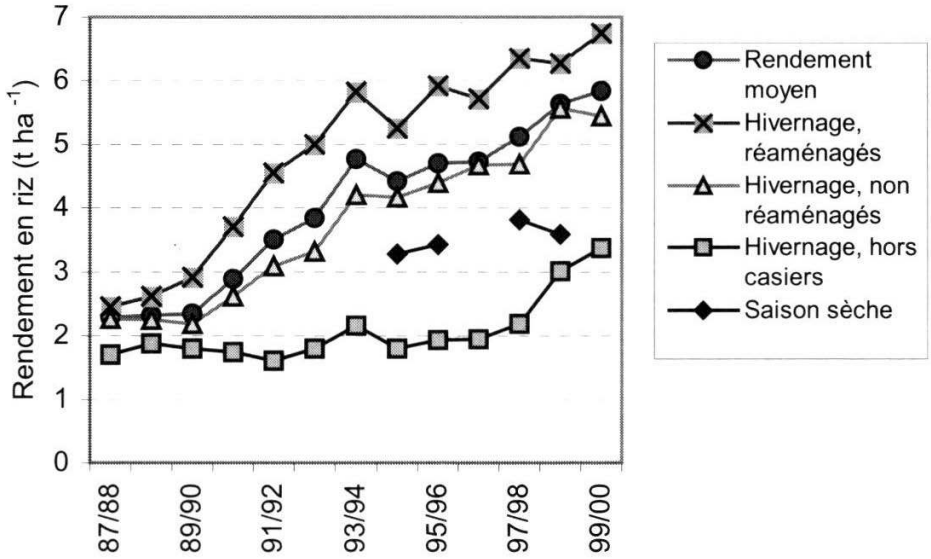


Figure 5. Évolution des rendements en riz à l'Office du Niger selon les types d'aménagement et selon les saisons.

20 Le taux d'intensité culturale sur les casiers, calculé en divisant la superficie cultivée annuellement sur la superficie totale aménagée, a également progressé. En 1987/88 il était de l'ordre de 79 % sur les casiers, contre environ 97 % en 1999/00. Au niveau des exploitations agricoles, ce taux est dans la grande majorité des cas supérieur à 100 % avec une culture de saison sur l'ensemble de la superficie et une culture de contre-saison riz et/ou de maraîchage sur une petite partie.

21 Avec ces évolutions très favorables, la production annuelle de paddy a progressé rapidement pour atteindre environ 320 000 t en 1999/00, ce qui représenterait près de 40 % de la production nationale estimée à 810 000 t (MDR/CPS d'après DNSI/DNAMR et Diaper), alors que les superficies concernées de l'Office du Niger ne représentent environ que 17 % des superficies cultivées au niveau national.

Exploitations agricoles et revenus de l'agriculture irriguée

22 Sur la période 1978-1999, le nombre des familles attributaires[7] (unité que l'on peut assimiler à des exploitations agricoles) est passé de près de 5 000 à un peu moins de 20 000, alors que les surfaces en riz sur casiers sont passées de 36 600 ha à environ 51 000 hectares. La surface moyenne en riz d'hivernage sur casier par exploitation a donc très fortement diminué passant de 7,52 ha à 2,62 ha (fig. 6).

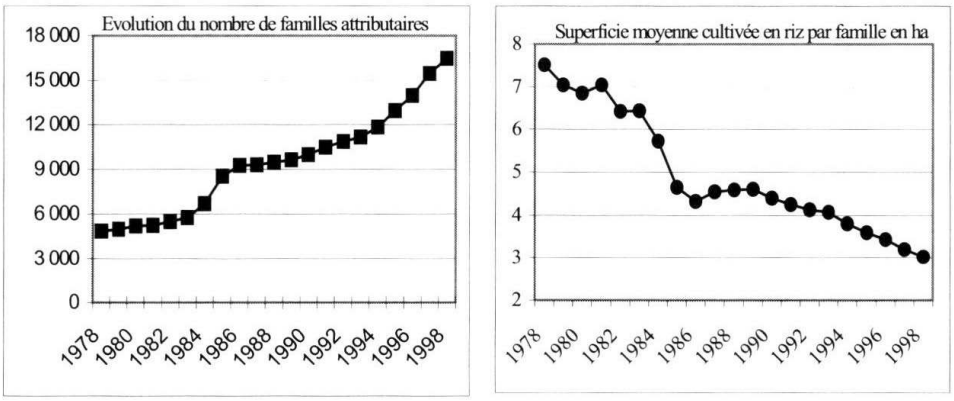


Figure 6. Évolutions du nombre de familles attributaires et de la superficie moyenne cultivée par famille.

23 On notera que dans le cadre des réhabilitations, cette réduction des superficies attribuées par famille a été un objectif recherché dans un souci de « pousser » à l'intensification. Cependant, ce phénomène s'observe aussi bien sur les zones réhabilitées que non réhabilitées ; le moteur de l'évolution est bien la pression foncière engendrée par la croissance démographique des exploitations existantes et l'arrivée de nouvelles exploitations.

24 Aujourd'hui, la situation des exploitations vis-à-vis du foncier est caractérisée par une relative concentration du fait essentiellement de la part importante des exploitations avec de petites superficies : 50 % des exploitations agricoles ne détiennent qu'un peu plus de 20 % de la superficie totale (fig. 7), ce qui correspond en moyenne à 1,2 ha pour plus de la moitié des exploitations. A l'inverse, environ 20 % des exploitants détiennent 50 % des superficies, ce qui correspond en moyenne à 7,4 ha par exploitation pour 20 % des exploitations. Il existe donc une très forte proportion de petits riziculteurs. Cette situation a une forte incidence sur les revenus agricoles dégagés. Pour 1998/99, les revenus agricoles moyens[8] par exploitation (issus des productions rizicoles et maraîchères irriguées uniquement et avant rémunération du travail familial) sont estimés à 1,8 millions de F CFA par an, soit 140 000 F CFA par an et par personne (tableau 3).

Tableau 3. Revenu annuel moyen issu de l'agriculture irriguée par type d'exploitation en 1998/99.

Types d'exploitation	petites	moyennes	grandes	Ensemble
Revenu agricole par exploitation agricole en F CFA an^{-1}	1 059 000	2 414 000	7 521 000	1 793 000
Revenu agricole par personne en F CFA an^{-1}	106 000	161 000	209 000	139 000

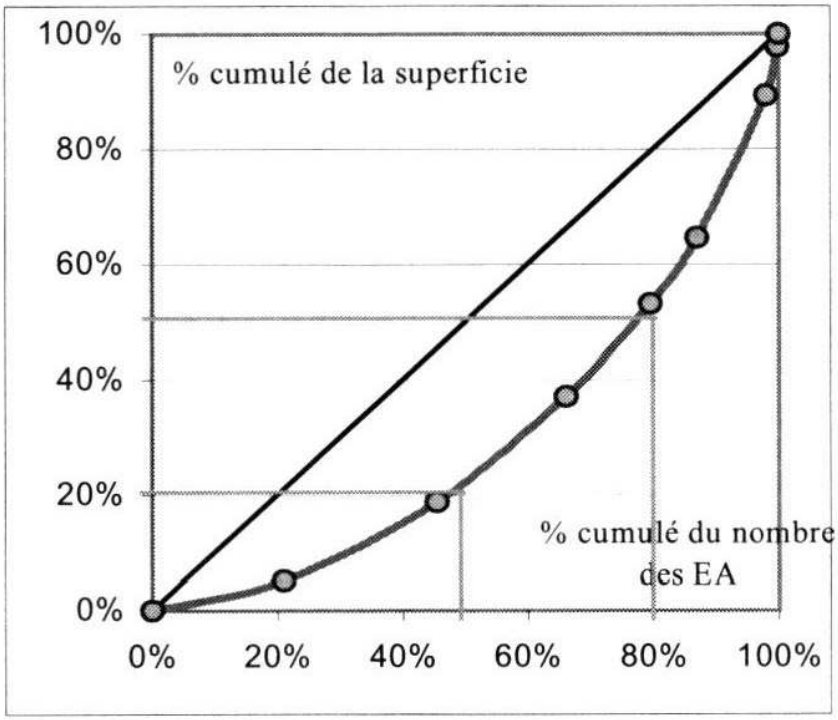


Figure 7. Courbe de concentration des superficies par famille établie à partir des données de contrôles de la redevance de 1998/99.

25 Le revenu moyen issu de l'agriculture irriguée pour les petites exploitations – même s'il est élevé par rapport aux revenus agricoles d'autres zones du Mali (y compris la zone cotonnière) – reste voisin du seuil de pauvreté qui pour 1996 était estimé à environ 103 000 F CFA an^{-1} par personne comme rappelé dans la « Lettre de politique de développement du sous-secteur des infrastructures rurales » (République du Mali, 2000). Les exploitations agricoles plus grandes qui disposent de capacités de financement ont des stratégies d'investissement diverses : thésaurisation dans des troupeaux, investissement dans des équipements motorisés pour la traction (motoculteurs et tracteurs), le battage et la transformation (décortiqueuses et moulins), mais aussi « immobilière » avec l'acquisition de lots de terrains et la construction d'habitations. Le nombre de batteuses et surtout de décortiqueuses a progressé avec une part de plus en plus importante des propriétaires privés par rapport aux organisations paysannes.

26 Les principaux indicateurs de l'activité agricole irriguée montrent une tendance nette à l'intensification et à l'amélioration de la productivité. Cependant, la demande en terre est très forte pour d'une part faire face à la simple croissance démographique des exploitations de la zone mais aussi pour satisfaire une demande extérieure importante. Pour les plus petites exploitations agricoles, la baisse des superficies moyennes disponibles ne pourra pas toujours être compensée par des gains de productivité comme cela a pu être le cas ces dernières années. Il y a un risque de précarisation de la situation économique des exploitations qui à terme peut remettre en question la vocation exportatrice de riz de la zone.

27 L'enjeu est donc bien d'accroître la superficie du domaine aménagé, ce qui pose un ensemble de questions sur la disponibilité et la préservation des ressources naturelles

pour réaliser cette extension. Bien évidemment, la première de ces ressources concernées est l'eau.

Les enjeux pour l'extension de la zone aménagée

28 Les enjeux que recouvre l'extension du domaine aménagé pour le Mali sont très importants, comme le rappelle la « Stratégie nationale de développement de l'irrigation » adoptée en 1999 : « *des déficits importants sont à combler en matière de production rizicole. La consommation nationale actuelle de riz est estimée à 470 000 t avec un déficit de l'ordre de 40 000 t. En tenant compte du croît démographique, du taux d'urbanisation et d'une propension à la consommation due à l'augmentation des revenus et sur la base d'un taux de croissance estimatif de la demande de 4 % par an, ces besoins additionnels seront de l'ordre de 260 000 t à l'an 2010, soit un équivalent de 400 000 t de paddy (soit de l'ordre de 80 000 ha dans la zone Office du Niger)* ». Pour relever ce défit alimentaire, le Mali compte sur la mise en valeur du potentiel de l'Office du Niger. Par ailleurs, il a également des ambitions d'exportation de riz vers les pays de la sous-région. Car, comme l'indique certaines études, « le Mali dispose d'un avantage comparatif prononcé dans la production et la commercialisation du riz sur son territoire national et cet avantage s'étend sur les territoires ivoirien, guinéen et sénégalais » (Barry *et al.*, 1998). Le projet Office du Niger était à l'origine de dimension régionale, il le reste encore aujourd'hui notamment dans le cadre de l'Union économique et monétaire de l'Afrique de l'Ouest (UEMOA).

29 Si les disponibilités en terres aptes à l'irrigation sont très vastes, la ressource en eau apparaît comme beaucoup plus limitée d'autant plus qu'elle est une ressource partagée dans un ensemble très vaste constitué par le delta intérieur au Mali et l'ensemble de la vallée jusqu'à son embouchure au Nigeria. Par ailleurs, l'extension de la zone aménagée ne peut être envisagée que dans le cadre d'un développement durable qui ne peut être garanti que par une exploitation rationnelle des ressources naturelles. C'est dans ce souci de prise en compte de la durabilité que l'Office du Niger a réalisé une étude environnementale et s'est engagé dans la réalisation d'un schéma directeur de développement à moyen et long terme.

La ressource en eau peut devenir une contrainte à l'extension

30 Les simulations faites à partir des débits d'équipements et des besoins des cultures indiquent clairement qu'avec les modes de gestion et les systèmes techniques actuels, l'eau peut assez rapidement devenir une contrainte forte au développement du domaine aménagé. Avec un débit d'équipement de 2,0 1 s^{-1} ha^{-1} utilisé comme norme pour la planification des aménagements (contre 2,41 s^{-1} ha^{-1} aujourd'hui), on constate que les débits à prélever deviennent rapidement très élevés et largement supérieurs aux disponibilités (tableau 4). Le niveau des 960 000 ha, objectifs affichés du premier projet, n'est introduit ici que pour mettre en évidence le décalage existant entre système technique et potentiel.

Tableau 4. Débits à prélever sur le fleuve en fonction des superficies à irriguées (avec une hypothèse de débit d'équipement de 2,0 l s^{-1} par ha).

	Superficie aménagée			
	65 000 ha	100 000 ha	200 000 ha	960 000 ha
débits à prélever $m^3 s^{-1}$	130	200	400	1 900

31 Les simulations présentées ici ont été faites dans le cadre de l'étude du schéma directeur pour déterminer le potentiel aménageable à partir des débits existant et des besoins des cultures (Sogréah-BCEOM-Betico, 1999). Les hypothèses retenues sont défavorables : les débits de référence sont ceux d'une année décennale sèche avec un prélèvement maximum de 75 % des débits, les besoins en eau ont été calculés pour la riziculture en submersion avec un calendrier et des opérations culturales de référence.

32 En raison du système de culture et des variétés de riz disponibles actuellement, la période critique est celle de l'étiage. L'étalement des semis permet d'amoindrir les effets de cette contrainte. C'est pourquoi, les calculs ont été faits avec deux calendriers. Pour le premier, la période des semis s'étale du 20 mai au 10 juillet conformément aux recommandations actuelles, pour le second elle se prolonge jusqu'au 31 juillet. Cette deuxième option est observée dans la pratique. Les résultats (tableau 5) montrent qu'avec le calendrier de référence, en simple culture d'hivernage, le potentiel irrigable n'est que de 53 000 ha. Avec un étalement des semis du 20 mai au 30 juillet (et donc de la pré-irrigation), ce potentiel passe à 108 000 ha. Dans le cas d'une double culture riz/riz, ce potentiel est très faible. Les débits du mois de mars limitent la superficie irrigable en contre saison à 6 000 ha. Cette mise en culture en contre saison limite les possibilités de la saison d'hivernage à 33 000 ha et 80 000 ha selon la période de semis.

Tableau 5. Potentiel irrigable en année décennale sèche en riziculture exclusivement (en ha).

	Simple culture	Double culture		
	hivernage	contre-saison	hivernage	*total*
sans étalement des semis	53 000	6 000	33 000	*39 000*
avec étalement des semis	108 000	6 000	80 000	*86 000*

33 Il est bien évident qu'une gestion concertée des ouvrages actuels en amont de Markala avec pour objectif d'optimiser la production agricole dans la zone de l'Office du Niger et la construction programmée de nouveaux ouvrages (en particulier le barrage de Fomi sur le Niandan en Guinée) auront un impact très important sur ce potentiel. Les simulations faites avec des apports supplémentaires de 60 $m^3 s^{-1}$ la dernière décade d'avril, 70 $m^3 s^{-1}$ en mai et 150 $m^3 s^{-1}$ en juin (soit 0,63 milliards de m^3, ce qui représente 25 % de la retenue de Sélingué) montrent que le potentiel agricole aménageable peut être plus que doublé et passer à 228 000 ha.

34 Les besoins en hydroélectricité à partir du barrage de Sélingué et les besoins en eau à l'Office du Niger ne sont pas incompatibles puisque tous se situent en saison sèche. La mise en service de la centrale hydroélectrique de Manantali dans le haut bassin du fleuve Sénégal pourrait permettre une amélioration de la gestion de Sélingué pour la production

agricole en aval. Une étude sur le thème de l'adéquation entre la demande de l'Office et la gestion de Sélingué avec la mise en service de Manantali serait utile.

35 Le potentiel aménageable de l'Office du Niger est donc étroitement lié à la gestion concertée du fleuve Niger et à l'évolution des techniques culturales (et en particulier de variétés plus adaptées). La double culture riz/riz présente de fortes contraintes en limitant le potentiel et ceci d'autant plus que les variétés actuellement disponibles pour la culture de contre-saison sont insuffisamment adaptées[9]. Par contre le potentiel de double culture riz et cultures maraîchères ou d'autres cultures de diversification apparaît beaucoup plus intéressant. Ce sont d'ailleurs ces cultures de diversification qui se développent actuellement en générant de fortes valeurs ajoutées.

36 Par ailleurs, les consommations en eau dans le système hydraulique de l'Office du Niger ont jusqu'ici été largement influencées par l'abondance de la ressource : absence de conflit entre les usagers, systèmes techniques gros consommateurs et en particulier la riziculture, pertes importantes sur le réseau (de l'ordre de 25 $m^3 s^{-1}$ dans le système Sahel [10]), satisfaction de multiples usages générant d'importantes déperdition comme le maintien d'une importante mare d'eau dans la partie nord. L'extension des superficies passe donc aussi par une amélioration de la gestion de l'eau pour réduire les consommations et améliorer la distribution.

Situation environnementale : diagnostic et mesures à prendre

37 Les aspects environnementaux dans de la zone de l'Office du Niger ont fait l'objet d'une étude approfondie dont les résultats ont été publiés au début de l'année 1999 (MDRE/ME, 1999). Le diagnostic a montré que la situation environnementale n'était pas aussi mauvaise que celle attendue au démarrage de l'étude. La mise en eau permanente des falas et l'irrigation ont généré un milieu humide favorable à la diversité biologique, au développement de ressources naturelles et à la création d'importantes activités économiques qui sont liées à leur exploitation. La priorité de développement donnée à l'aménagement hydroagricole a certe généré une évolution déséquilibrée en faveur de l'irrigation, mais tous les secteurs aujourd'hui en « tirent » profit.

38 Il existe cependant de fortes contraintes, en particulier en matière de santé humaine, et de nombreuses dynamiques de dégradation des ressources naturelles (par exemple : sols, couvert végétal, nappe phréatique) qu'il faudrait maîtriser pour préserver cette situation et ceci d'autant plus que le développement de l'irrigation sera rapide. Pour la zone, les contraintes majeures inventoriées sont (MDRE/ME, 1999 ; Ndiaye, 1998) :

- pour les populations humaines : la faible disponibilité en eau potable, l'insuffisance d'assainissement des zones habitées, la forte récurrence des maladies hydriques ;
- pour les milieux naturels : les prélèvements d'eaux dans le fleuve, la transformation d'espaces terrestres et deltaïques en espaces aménagés, la pollution des eaux de surface et souterraines, la dégradation du couvert végétal et les pressions sur la faune ;
- pour les milieux aménagés : l'entrée de très fortes quantités d'eau, la dégradation des sols, les difficultés d'évacuation des eaux usées, la prolifération des végétaux aquatiques parasites, la pullulation des pestes aviaires et autres animaux parasites et les dégradations par le bétail.

39 La disponibilité en eau potable pour les populations est nettement insuffisante. En raison des pollutions et de la faiblesse de l'assainissement, l'eau des puits dans la zone aménagée

est généralement polluée ; seuls les forages permettent d'assurer une eau de qualité. Or ces derniers sont encore trop peu nombreux.

40 La ville de Niono (environ 25 000 habitants en 2000), la plus importante de la zone, se développe rapidement (taux de croissance de 3,56 % par an de 1987 à 1998) dans des conditions sanitaires déplorables aggravées par la position géographique. Le rôle de « capitale » économique de fait qu'elle exerce et qui doit s'amplifier exige un plan d'urbanisme conséquent. Et cette situation n'est pas l'apanage de Niono, les autres villes et villages souffrent des mêmes maux.

41 Les maladies liées à l'eau (paludisme, bilharziose, diarrhées, etc.) sont quasi endémiques avec des conséquences importantes sur le bien être des populations et sur le plan économique en réduisant la capacité de travail des actifs.

42 Le développement très rapide des plantes aquatiques – et tout particulièrement de la jacinthe d'eau – constitue une menace importante avec des effets qui peuvent s'avérer très néfastes à court terme.

43 L'insuffisance du réseau de drainage pour la zone dans son ensemble, aussi bien au niveau conception qu'entretien, a un impact fort sur l'environnement (sols, couvert végétal, nappe phréatique, pollutions, etc.) en particulier pour l'assainissement des lieux de concentration de populations.

44 Les prélèvements d'eau de l'Office du Niger à Markala pendant l'étiage ont des incidences en aval. Cependant ils ne constituent qu'une fraction des apports du barrage de Sélingué, les débits restent donc en moyenne supérieurs au cours naturel. Sur ce plan, le développement de la zone doit être envisagé en prenant en compte l'ensemble du bassin du fleuve avec les ouvrages planifiés.

45 Les aménagements hydroagricoles et la consommation de bois pour l'énergie sont des facteurs de dégradation des ressources ligneuses dans la zone aménagée. Cependant, prise dans son ensemble la zone d'étude dispose de ressources conséquentes dont un stock important de bois mort qu'il conviendrait d'exploiter (Projet stratégie énergie domestique, 1999) et l'évolution des prix génère de réelles possibilités pour le développement de la sylviculture (Sogréah-BCEOM-Betico, 2000).

46 Les enjeux liés aux aspects environnementaux sont importants pour le devenir de la zone et en particulier celui de la zone aménagée. Si pendant de nombreuses années, l'environnement n'a pas été une réelle préoccupation en termes de décisions politiques, cette situation est révolue et le schéma directeur de développement de la zone de l'Office du Niger devrait aboutir à des propositions concrètes qui prennent en compte ces aspects dans une perspective de gestion rationnelle des ressources et de durabilité des systèmes. Les principales mesures à prendre telles suite à l'étude environnementale concernent : la mise en place d'un suivi environnemental dans la zone, des mesures de protection et de conservation des ressources : terre, eau, couvert végétal (vis-à-vis de la quantité et de la qualité de ces ressources), le développement d'un programme d'information d'éducation et de communication sur les aspects de santé, d'hygiène et de cadre de vie, la création d'une synergie et la codification des actions sectorielles (irrigation, élevage, environnement, etc.), une relecture pour une mise en harmonisation des cadres institutionnels. En ce qui concerne ce dernier point, c'est ce que l'Office a engagé à travers le schéma directeur qui doit devenir un instrument de pilotage et d'arbitrage.

Conclusion

47 Après de nombreuses années de stagnation, la zone de l'Office du Niger est aujourd'hui dans une phase de croissance très forte. Les succès enregistrés sur les plans techniques et économiques en font une zone d'attraction pour les populations et un pôle de croissance économique pour l'ensemble du Mali. Le domaine aménagé est devenu insuffisant pour faire face à la croissance démographique et à la demande externe. Son extension est une des priorités du développement rural pour le Mali. Si la contrainte principale reste le financement des aménagements hydroagricoles, elle ne doit pas occulter les aspects environnementaux. Seule une gestion rationnelle des ressources naturelles peut garantir la durabilité de ce vaste système hydraulique intégré à un ensemble plus vaste qu'est le delta intérieur du Niger. Parmi les principales ressources que sont la terre et l'eau, la première est aujourd'hui très largement disponible. Quant à la seconde, bien qu'elle soit en grande quantité du fait de l'importance des débits du fleuve Niger, sa disponibilité est irrégulière durant l'année et constitue une ressource à partager en concertation. Elle est aujourd'hui mal gérée et insuffisamment valorisée. De la situation actuelle à la mise en valeur de l'ensemble de la zone, plusieurs scénarios donnent des indications sur les besoins et mettent en évidence le caractère indispensable d'une gestion concertée de la ressource au niveau du bassin du fleuve.

48 L'extension des superficies aménagées et donc des activités agricoles irriguées ne peut que s'inscrire dans le cadre d'un développement durable basé sur une exploitation rationnelle de toutes les ressources naturelles. Une étude menée en 1998 et 1999 a conclu que la situation environnementale actuelle dans la zone est dans son ensemble satisfaisante. Cependant, ces bons résultats ne doivent pas faire oublier les risques importants qui demeurent et qui ne peuvent aller qu'en s'amplifiant avec les extensions. Il convient donc de mettre en place un programme de suivi de la situation environnementale pour prévenir ces risques et apporter au besoin les correctifs nécessaires. De même, le développement de cette zone par la mobilisation croissante des importantes ressources disponibles ne saurait être abordé sans un outil de planification régional permettant de définir pour le moyen et long terme les grandes orientations du développement pour l'ensemble des secteurs et servir de cadre de cohérence aux futurs projets et programmes d'intervention. C'est dans cette perspective que l'Office du Niger a engagé l'élaboration d'un schéma directeur à travers une démarche participative visant à associer l'ensemble des acteurs concernés.

49 Mais l'Office du Niger n'est qu'un élément du bassin d'où la nécessité d'une gestion concertée des ouvrages sur l'ensemble du fleuve (comme prévu initialement : barrage de Fomi en Guinée et tous les ouvrages jusqu'à la sortie du delta). Cristalliser le débat autour de l'Office du Niger en occultant l'environnement national et sous-régional serait compromettre les perspectives de solutions pertinentes. En effet, il convient à terme de mettre en place un schéma de gestion au niveau national et international, ce qui suppose une meilleure évaluation des ressources et des besoins actuels et futurs, un bon suivi dans le temps à travers des observatoires et des institutions adéquates, des règles de gestion consensuelles et un cadre de concertation intégrant les différents usagers des organisations dotées des moyens nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Baris P., Coste J., Coulibaly A., Deme M., 1996 – *Analyse de la filière rizicole de la zone de l'Office du Niger et des perspectives à moyen et long termes.* Doc. Primature et ministère du Développement rural et de l'Environnement, Bamako, mai 1996, 110 p. + annexes.

Barry A. W., Diarra S. B,, Diarra D., 1998 – *Promouvoir les exportations du riz malien vers les pays de la sous-région.* Doc. USAID, Bamako, octobre 1998, 66 p.

Bricquet J.-P., Mahe G., Bamba F., Olivry J.-C, 1996 – Changements climatiques récents et modifications du régime hydrologique du fleuve Niger à Koulikoro. l'*AHS publ.,* 238 : 157-166.

Jamin J.-Y., 1994 – *De la norme à la diversité : l'intensification rizicole face à la diversité paysanne dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger.* Doc. INA Paris-Grignon, Paris, 398 p.

Mariko D., Chohin-Kuper A., Kelly V., 1999 – *La filière riz à l'Office du Niger au mali : une nouvelle dynamique depuis la dévaluation du F CFA.* Doc. IER et Insah, Bamako, 37 p.

Mendez del Villar P., Sourisseau J.-M., Diakité L, 1995 – *Les premiers effets de la dévaluation sur les filières riz irriguées au Sahel : le cas du Mali.* Doc. IER/Cirad, Bamako, septembre 1995, 183 p.

MDRE/ME, 1999 – *Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Rapport de synthèse.* Doc. Ministère du Développement rural et de l'Eau et ministère de l'Environnement, Bamako, janvier 1999, 63 p.

Ndiaye K., 1998 – *Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Aspects liés à l'hydro-système et à la productivité de sols.* Doc. Ministère du Développement rural et de l'Eau, Bamako, 61 p. + annexes.

Office du Niger, 1999 – *Influence de la gestion de Sélingué sur la gestion de l'eau à l'Office du Niger. Situation au 28 juin 1999. Office du Niger.* Doc. Office du Niger, Ségou, juillet 1999, 7 p.

Ouvry F., Marlet S., Tangara B., Goita O., 1999 – *Suivi de l'irrigation et du drainage. Étude des règles de gestion de l'eau et bilans hydro-salins à l'Office du Niger (cas de la zone de Niono, Mali).* Doc. IER/PSI, Bamako, 30 p.

Projet stratégie énergie domestique, 1999 – *Schéma directeur d'approvisionnement en bois énergie de Niono.* Doc. ministère des Mines et de l'Énergie et ministère de l'Environnement, Bamako, 20 p.

République du Mali, 2000 – *Lettre de politique de développement du sous-secteur des infrastructures rurales.* Rép. du Mali, mai 2000, 10 p.

Sogréah-BCEOM-Betico, 1999 – *Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger : diagnostic de la situation actuelle. Rap. principal + rap. infrastructures hydrauliques.* Doc. Office du Niger, Ségou, 108 p + 71 p.

Sogréah-BCEOM-Betico, 2000 – *Composante mise en valeur. Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger, phase 1B.* Doc. Office du Niger, Ségou, 42 p.

NOTES

1. La zone de l'Office du Niger est définie à travers le décret de gérance de 1996 et son arrêté d'application qui traitent à la fois de la gestion des terres et de la gestion de l'eau. Le premier chapitre du décret présente l'affectation des terres par le Gouvernement à l'Office du Niger comprenant les terres du delta intérieur du fleuve Niger, aménagées et équipées, celles à aménager et à équiper, irriguées ou pouvant l'être à partir des ouvrages et canaux du barrage de Markala. Et les terres non irrigables que le Gouvernement estimera utiles à la mission de l'Office du Niger. Ces terres sont immatriculées au nom de l'État ou font l'objet de procédure d'immatriculation.

2. Station hydrologique située à mi-chemin entre Bamako et Ségou, contrôlant le barrage de Markala (fig. 1).

3. Kuper M., Hassane A., Orange D., Chohin-Kuper A., Sow M., ce volume – « Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger : impact de la gestion des aménagements hydrauliques ». *In : partie 3.*

4. Les ouvrages de base sont constitués par (voir carte en fig. 3) :

- le barrage de Markala, construit en 1947, est un pont-barrage de dérivation qui a pour but de relever le plan d'eau du Niger (jusqu'à 5,5 mètres) et permettre l'irrigation gravitaire des périmètres situés en rive gauche :
- le canal de navigation et l'écluse de Thio (sur la rive droite) :
- le canal adducteur d'une capacité de 200 $m^3\ s^{-1}$, d'une longueur de 9 km qui conduit aux ouvrages du point A ;
- les ouvrages du point A qui permettent d'alimenter le canal du Sahel d'une capacité de 100 $m^3\ s^{-1}$d'une longueur de 24 km et qui alimente le fala de Molodo, le canal du Macina d'une capacité de 50 $m^3\ s^{-1}$ d'une longueur de 20 km qui alimente le fala de Boky Wéré et le canal Costes Ongoïba d'une capacité actuelle de 13 m^3s^{-1} et d'une longueur de 19 km (l'ouvrage correspondant a, quant à lui, une capacité de 48 m^3s^{-1}) ;
- les autres ouvrages régulateurs sont les points B et C situés sur le fala de Molodo et l'ouvrage de sécurité de Kolongotomo situé sur le fala de Boky Wéré ;
- enfin, le réseau de drainage principal constitué des collecteurs du Kala inférieur (KIE et KIO) et du Kouroumari, du Kala supérieur et du Macina.

5. Les actions de lutte engagées par l'Office du Niger n'ont pu jusqu'ici que contenir le problème.

6. Dans la pratique, il y a un étalement des besoins en fonction des calendriers culturaux, une gestion de l'eau plus économe dans les casiers et une meilleure maîtrise du drainage.

7. Le nombre de villages concernés est passé de 136 à 208.

8. Ces revenus moyens ont été déterminés pour les zones réaménagées et non réaménagées et ils ne prennent pas en compte les revenus des autres activités, y compris les activités d'élevage.

9. Pour la variété *China,* utilisée comme référence, les risques de stérilité liés au froid ou au chaud restent élevés pour des semis en janvier et février.

10. Ouvry *et al.*, 1999.

AUTEURS

NANCOMAN KEITA

Ingénieur du Génie rural. Office du Niger, Président Directeur Général, BP 106, Ségou, Mali

JEAN-FRANCOIS BÉLIÈRES

Agro-économiste. Cirad-Tera, Office du Niger, BP 106, Ségou, Mali, belieres@cefib.com

SOULEYMANE SIDIBÉ

Aménagiste. Office du Niger, BP 106, Ségou, Mali

Projet Gihrex

Ambitions et acquis d'un projet de recherche pour le développement durable du delta intérieur du Niger

Didier Orange

1 Le projet Gihrex (acronyme de « *Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation* ») est né d'une volonté de concilier recherche et action suite aux expériences scientifiques que l'Orstom avait accumulées sur le delta intérieur du fleuve Niger au Mali d'une part, et de répondre à un enjeu majeur du développement qui est de passer de l'exploitation des ressources naturelles à leur gestion en tenant compte de la dynamique à long terme des systèmes physiques, biologiques et anthropiques, et des besoins et usages des populations d'autre part. Cette expérience a fait suite à deux programmes de recherche récents qui ont très largement alimenté la conception du projet :

- le programme halieutique « *Pêche dans le delta central* » (dirigé par J. Quensière, 1986-1994) qui réalisa une approche pluridisciplinaire du système de production halieutique du delta intérieur du Niger ;
- le programme hydrologique « *Equanis* » (dirigé par J.-C. Olivry, 1992-1997) sur le bilan hydrologique et le bilan des flux de matières transportés par le fleuve Niger sur son bassin supérieur et son delta intérieur au Mali.

2 Le delta intérieur du fleuve Niger est un exemple d'anthroposystème où régime hydrologique, dynamique de l'environnement (flore, faune et paysages) et activités humaines (pêche, agriculture, élevage) sont étroitement associés (Poncet et Orange, 1999). La durabilité des modes d'exploitation par l'homme d'un tel milieu est une question fondamentale pour la survie de l'écosystème. Ainsi, le projet Gihrex s'est intéressé tout à la fois à la compréhension de la dynamique naturelle du delta, à la connaissance des modes d'organisation et d'exploitation par l'homme et à l'analyse de leur durabilité. Cela a concerné des points aussi divers que la dynamique de la ressource en eau, la dynamique des écosystèmes aquatiques, la dynamique démographique et les modes d'organisation sociale, la dynamique des productions agricole, pastorale et halieutique, la dynamique environnementale et enfin les compétitions d'allocation des ressources en fonction de ces diverses dynamiques (Kuper *et al.*, 1999 ; Orange, 1999 ; Orange, 2000 ; Poncet *et al.*, 2001).

Les ambitions

Gestion, intégration, modélisation

3 Dans un contexte de développement durable, le premier objectif d'une recherche se voulant proche de l'action est de permettre d'anticiper les devenirs des systèmes étudiés afin notamment de contrôler les impacts d'une stratégie de gestion (de Wit *et al.*, 1988) ; le second objectif, mais pas le moindre, est de permettre l'implication des différents acteurs pour l'obtention de leur conviction dans une gestion concertée de dynamiques naturelles souvent concurrentes (Rabbinge *et al.*, 1994 ; Morand, ce volume[1]). Cela revient à travailler aux interfaces entre les couples nature-ressource et exploitation-société. Autrement dit, il s'agit de comprendre les interactions complexes entre les processus naturels de la transformation biophysique et les processus sociaux de la production, afin de permettre les prises de décision pour gérer durablement les usages (Röling, 1994 ; Bousquet *et al.*, 1998). Dans le delta intérieur du Niger, le projet de recherche Gihrex a donc eu un double objectif : (1) étudier par une approche pluridisciplinaire intégrée les impacts des changements de la disponibilité en eau sur le développement durable et viable des sociétés utilisant les ressources du delta intérieur du Niger au Mali, (2) réfléchir sur les moyens, méthodes et outils de transferts de l'information entre les divers niveaux de décision impliqués dans la gestion d'un hydrosystème.

4 La gestion d'un espace est obligatoirement associée à la prise de décision. La gestion se situe donc dans l'action, dans le présent. Or aujourd'hui, pour garantir le futur, la société gestionnaire de son espace de vie – la société civile – interpelle les scientifiques pour répondre à ses préoccupations, ses interrogations. Il s'agit alors pour la science de répondre à des questions finalisées, exercice qui implique l'interdisciplinarité (Laloë, 1999), une vision systémique du territoire (Carbonnel *et al.*, 2001) et la capacité de prospective (Jollivet, 2001). Ces conditions sont nécessaires pour placer la connaissance scientifique dans un cadre décisionnel, mais elles ne sont pas suffisantes. Comme le soulignent Christian Mullon et Serge Garcia dans ce volume[2], les chercheurs doivent faire preuve aussi de conviction. L'interdisciplinarité – ou transdisciplinarité – nécessite un facteur d'intégration qui servira de catalyseur pour mettre en œuvre un échange réel des savoirs qui se révélera heuristique (Klein, 1996 ; Pohl, 2001) ; on parlera alors de « pluridisciplinarité intégrée ». Par ailleurs, la décision est un processus permanent et pro-actif ; elle ne s'inscrit donc pas dans un schéma linéaire mais dans un schéma en boucle sans fin, assimilable en fait à un état d'équilibre instable. Cela a deux conséquences majeures : d'une part, placer la coopération chercheurs / gestionnaires dans la durée et d'autre part, rendre la réponse des chercheurs non déterministe (de Wit *et al.*, 1988 ; Castella *et al.*, 1999 ; Décamps, 2000 ; Duvail *et al.*, 2001 ; Roybin *et al.*, 2001). En effet, l'adaptation des stratégies d'exploitation des acteurs aux conditions environnementales et socio-économiques toujours nouvelles sont très rapides.

5 Ainsi plutôt qu'une logique de transfert de connaissances issues de la recherche, il s'agit d'arriver à une logique de « co-construction » définie comme étant un ensemble de relations partenariales entre les trois pôles que sont acteurs de la recherche, acteurs du développement et l'association « objets, savoirs et questions » (Roybin *et al.*, 2001). Cette vision s'oppose à une organisation linéaire classique de la recherche pour le

développement entre deux pôles qui seraient d'un côté questions, développement et de l'autre recherche, objets, connaissances.

6 Dans ce cadre, la modélisation intégrée est une méthode qui va permettre d'assurer la cohérence et l'intégration des questions et connaissances, et maximiser l'efficacité du groupe (Poncet *et al.*, 2001 ; Poncet *et al.*, 2002). La société civile demandera donc aux chercheurs de fournir un modèle capable de reconstruire l'image des systèmes concernés dans leur complexité, ce qui nécessite à la fois un haut niveau de connaissances disciplinaires, de connaissances des mécanismes – accéder à la dynamique des objets – et un ensemble d'outils pour intégrer les connaissances (Morand, *ibid.*). Bien sûr, le modèle ne sera jamais un outil de décision car les individus (toujours non prévisibles) interagissent ensemble à propos de leur environnement. Le modèle sera un outil de concertation et participera à la discussion entre les acteurs, le chercheur étant devenu acteur dans ce processus d'expertise. Le modèle devient donc en fait une maquette de modélisation créant un espace virtuel de négociations et recréant cet état de tension permanente liée à l'état d'équilibre instable de tout écosystème (Kalaora et Charles, 2000). La réussite de la modélisation est basée sur la précision des connaissances, la pertinence des scénarios et la bonne définition des variables explicatives. Cet ensemble permettra la réalisation de simulations où les acteurs se retrouveront ; le résultat pourra alors être utilisé comme espace de dialogue entre les acteurs – « *policy makers* » et « *décision makers* » – (de Wit *et al.*, 1988 ; Bousquet *et al.*, 1998 ; Castella *et al.*, 1999 ; Orange, 1999 ; Kuper *et ai,* 2001 ; Poncet *et al.*, 2001).

Des termes de convergence : un groupe d'animation, des questions finalisées, un projet de développement

7 Les ambitions d'une telle démarche sont soutendues par une volonté d'appropriation des résultats par l'ensemble des acteurs, qui, rappelons-le, proviennent d'horizons divers. Dans le cas du projet Gihrex, la réalisation fonctionnelle de cette co-construction a été basée sur la création d'un groupe pluridisciplinaire et pluri– institutionnel, – le groupe *Cerdin* –, qui constituait une plateforme pluridisciplinaire pour la réalisation d'une réflexion interdisciplinaire et la construction d'objets transdisciplinaires (Orange, 1999 ; Poncet *et al.*, 2001). Ainsi, le groupe d'animation a été construit autour du delta, en tant qu'entité géographique et qu'espace humain à développer. Le delta était donc le point de convergence des attentes et des ambitions de tous (fig. 1). Un des premiers exercice du groupe a été la définition conjointe d'un projet de développement qui deviendra la raison d'être du groupe, ou encore son langage commun (Petschel-Held *et al.*, 1999). C'est ainsi que fut écrit le projet Eides-Din (Orange, 1999) à partir d'un inventaire de questions finalisées dont la formulation avait été récupérée auprès des directions nationales, régionales et des commissions d'utilisateurs maliennes.

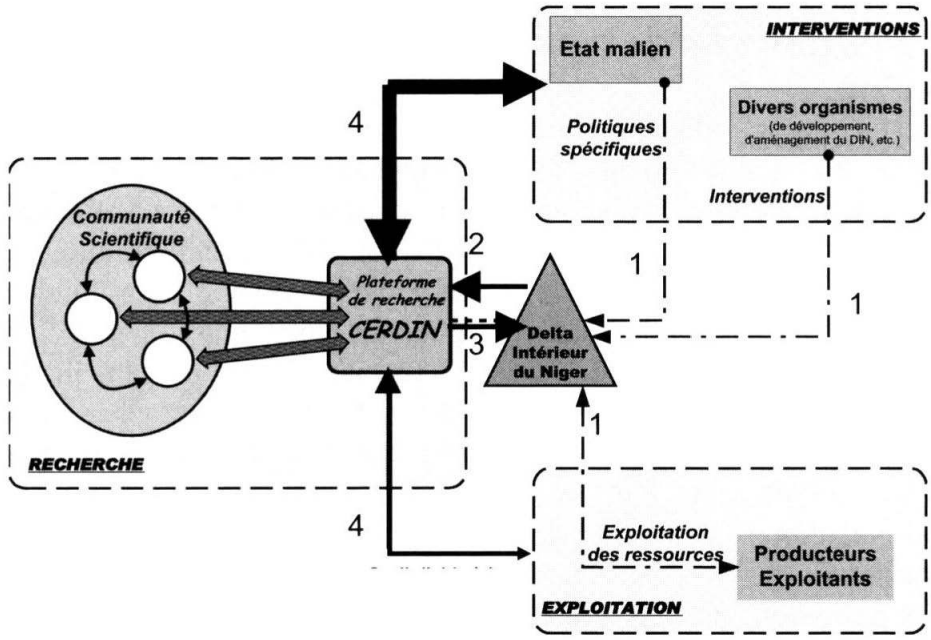


Figure 1. Le delta : point de convergence des attentes et ambitions. 1 : Formulation des questions finalisées ; 2 : Demande d'outils d'aide à la décision ; 3 : Observations, recherche, connaissances ; 4 : Dialogue, concertation, co-construction.

8 Pour conclure, nous retiendrons que le projet a eu d'abord une existence territoriale, ce qui semble être une constante dans ce type d'approche (Wasson *et al.*, 1993 ; Duvail *et al.*, 2001 ; Roybin *et al.*, 2001). Mais cette base territoriale n'était pas suffisante pour créer la dynamique de groupe nécessaire à son existence. Le groupe a eu besoin de se construire autour de questions finalisées. En fait, le delta, objet d'étude, se retrouve être le point de convergence du groupe puis des interrogations et enfin d'un projet de développement qui justifie les opérations de recherche à mener (fig. 1). Celles-ci ont pu être réalisées grâce au support financier et institutionnel de l'action « zone atelier » du GIP-Hydrosystèmes (ministère de la Recherche, Paris ; Lévêque *et al.*, 2000) qui a donné lieu à la zone atelier du delta, « Zadin » (Orange, 2000).

Les acquis

Synergie interdisciplinaire par la modélisation

9 La synergie interdisciplinaire a été assurée d'une part, par la nature même du chantier géographique d'étude, le delta, et d'autre part, par la modélisation intégrée qui a apporté une articulation fonctionnelle de la pluridisciplinarité. En effet, la délimitation de l'objet delta est fonctionnelle et non géographique : elle est fondée sur l'inondation fluviale dont l'extension varie pourtant à la fois dans l'espace et dans le temps. Cette reconnaissance universelle de la définition du mot delta autour de sa fonctionnalité a permis à l'objet géographique de servir de plateforme de travail. Cela a induit également l'unanimité sur un certain nombre de problématiques générales qui formèrent un cadre commun à la discussion (gestion de barrage, ensablement, gestion de calendriers d'exploitation, conflits d'usage...). Le chantier géographique fut aussi un lieu privilégié de partenariats

scientifiques, techniques, logistiques et politiques (rencontres, discussions, échanges, réunions, assemblées). Par ailleurs, l'utilisation de la modélisation intégrée dès le démarrage du projet a permis de mieux expliciter les questions pertinentes de gestion et de préciser les contributions respectives des recherches thématiques. Par un processus de dialogue initié avec un collectif d'utilisateurs potentiels, elle a joué un rôle de plateforme de discussion entre chercheurs et gestionnaires.

10 Ainsi, la modélisation intégrée a été au sein de Gihrex et du groupe Cerdin le moteur qui a permis de mener de front les avancées dans les différentes disciplines concernées et de contraindre des calendriers compatibles entre tous. La modélisation intégrée a donc très largement dépassé ses propres objectifs de recherche et de construction de l'outil. Pour elle et en concertation avec elle, le projet Gihrex a :

- collecté et mis à disposition l'information environnementale existante ;
- mobilisé les institutions de recherche et directions nationales maliennes pour travailler conjointement ;
- créé une « niche écologique » politique (notamment par le biais du séminaire Girn-Zit) ;
- identifié et modélisé les processus naturels majeurs ;
- listé les opérations de recherche cognitive encore nécessaires ;
- défini les indicateurs utiles de pression du milieu et de pression d'exploitation ;
- créé l'architecture d'une modélisation intégrée permettant un espace de communication et d'échanges entre les acteurs (producteurs, décideurs et chercheurs) ;
- créé l'architecture d'un futur observatoire socio-écologique avec son système d'information performant.

11 La modélisation intégrée a également permis de structurer la stratégie du projet de recherche Gihrex autour des objectifs intégrés discutés par la plateforme Cerdin, à savoir : les productions possibles, la pression sur le milieu et l'aide à la décision. Ces trois termes de convergence ont permis d'articuler les trois pôles de recherche que sont les recherches thématiques sur le système physique, le système socio-économique et les recherches cognitives sur les systèmes d'information (fig. 2).

12 Le premier résultat du projet Gihrex est de faire reconnaître l'hydrosystème delta comme une unité de gestion. Aujourd'hui, il est acquis que les projets de développement concernant le delta doivent prendre en compte l'ensemble des systèmes d'exploitation : l'approche systémique est de rigueur. Dans le détail, les résultats du projet Gihrex peuvent être classés selon trois catégories :

- *connaissances du milieu et des processus* : fonctionnement hydrologique, rôle des lacs périphériques, ensablement et envasement, richesse trophique, fertilité du milieu, état de référence du milieu ;
- *analyse des dynamiques spatio-temporelles* : maquette Midin, suivi de l'inondation par imagerie satellitale ;
- *organisation de l'information et des capacités humaines* : observatoire de la pêche, infothèque WiseDL, chaire universitaire de recherche et d'enseignement supérieur, groupe pluridisciplinaire Cerdin.

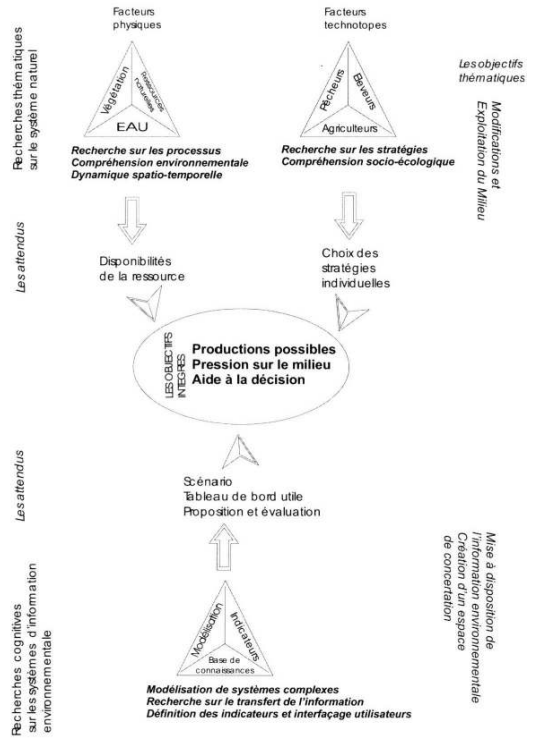


Figure 2. Articulation des pôles de recherche et stratégie du projet en fonction des objectifs intégrés attendus.

La maquette Midin : un outil prospectif

13 Le projet Gihrex a donc permis de comprendre les processus de genèse et d'exploitation des ressources naturelles dans le delta en considérant l'eau comme un capital à gérer, et de prévoir leurs évolutions par le biais d'une modélisation intégrée permettant à la fois la réalisation de scénario et l'alimentation de négociations entre les acteurs du développement régional. Cette dernière fonction est obtenue en quantifiant l'impact des événements naturels ou anthropiques sur le revenu des exploitants. En effet, la finalité de Gihrex était bien de restituer des mécanismes et des processus afin de nourrir les échanges entre acteurs du développement, et non pas de fournir des données quantitatives expertes justifiant les prises de décision. Aussi dans un tel projet de modélisation, il ne s'agissait pas de représenter l'ensemble du système avec toutes ses composantes, mais de représenter une partie de la réalité afin de répondre aux questions explicites de gestion. Dans cette perspective, certains processus ou relations sont simplifiés en les considérant comme constants ou externalités. Ainsi la maquette Midin n'est pas un outil de prédiction. C'est une maquette de modélisation pour la réalisation de simulations basées sur des scénarios issus d'un dialogue interactif entre exploitants, gestionnaires et chercheurs. Elle sert à illustrer des diagnostics pour des questions précises de gestion et ainsi évaluer les impacts des différentes stratégies envisagées. C'est un outil prospectif. La vraisemblance et la plausibilité des résultats de simulation, critères de validation essentiels, ont été testés par les membres du groupe Cerdin et certains utilisateurs potentiels du modèle d'après leurs connaissances sur le présent et le passé, sur des secteurs géographiques qui leurs étaient bien connus. En effet, l'espace de la région inondable – le delta – retenu comme la clé commune et visible de tous les produits

du modèle est représenté par un réseau constitué de trois types d'entités géo-hydrographiques fonctionnelles (plaines inondables, lacs, fleuves, rivières, chenaux, confluences et défluences). Et chaque phénomène évolutif (disponibilité en eau, déplacements des producteurs) est représenté dans chaque entité à un pas de temps de 15 jours (Kuper *et al.*, ce volume[3]).

Base de connaissances, système d'information et observatoire

14 La définition d'une organisation commune de l'information utile à la gestion répondant à une structure d'observatoire environnemental est également un élément fondamental des acquis du projet Gihrex (fig. 3).

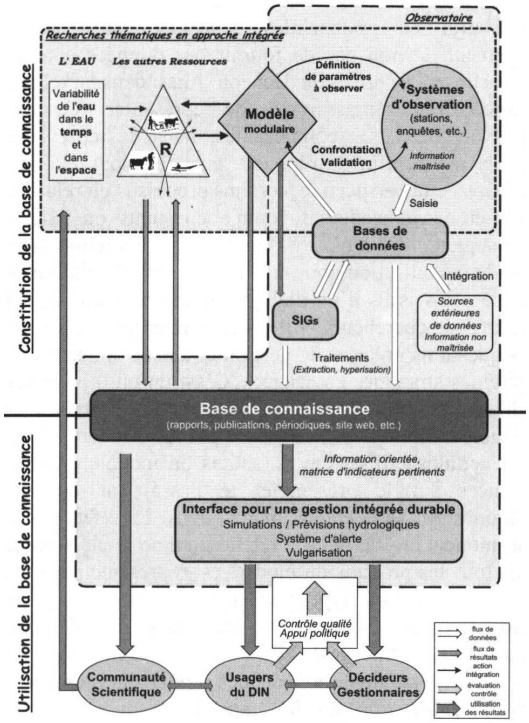


Figure 3. Concept retenu pour un système d'information et un observatoire afin d'impliquer la recherche comme acteur permanent d'une gestion intégrée des ressources naturelles du delta intérieur du Niger.

15 Cette structure définit ainsi une articulation des échelles de travail (aussi bien dans le temps que dans l'espace) et une harmonisation des échantillonnages ou enquêtes, qui devront toujours venir nourrir les banques de données (données hydrologiques, géochimiques, biochimiques, hydrobiologiques, socio– économiques, etc.) nécessaires au suivi de la durabilité des fonctions du delta intérieur du Niger et donc utiles pour une prise de décision raisonnée. Des exemples d'application ont été réalisés en partenariat avec le projet Simes, pour cela voir : Morand *et al.* (ce volume[4]), Dzéakou *et al.* (ce volume[5]).

Importance du facteur humain

Potentialités d'appropriation de Midin

16 En tant qu'outil de communication, la maquette Midin a demandé dès sa conception un effort de prise en compte de la diversité potentielle du public utilisateur. Aussi perfectionnée soit-elle, elle doit pouvoir être utilisée par des personnes ayant de faibles connaissances en informatique. De plus, la pluridisciplinarité intrinsèque du modèle intégré implique que chaque information technique ou scientifique soit formulée de façon à être comprise par des non spécialistes. Pour cela, la présentation animée du modèle privilégie la convivialité et la simplicité d'utilisation, conditions indispensables pour assurer la vocation relationnelle de la maquette. Le rôle communicationnel de la maquette a été observée lors de cessions de formation-concertation (de Noray, 2000). Il est apparu que la maquette est un support d'informations qui demande un certain temps d'adaptation et nécessite un accompagnement pédagogique, mais elle s'avère rapidement accessible (après 1 heure d'utilisation) à un panel d'ingénieurs et de techniciens gestionnaires : le concept de modélisation ne génère pas de blocage décisif. Au contraire, l'intégration des processus confère à la maquette un aspect attractif qui constitue une porte d'entrée majeure pour la sensibilisation à la notion de gestion intégrée. De même, la maquette a pu être testée dans une ville du delta (à Saraféré) avec les administrés du maire. Très vite, pêcheurs, éleveurs, agriculteurs, gestionnaires ont voulu mesurer leurs propres connaissances, leur bon sens aux informations fournies par la maquette optant pour un comportement actif et relativement dominant par rapport à l'outil. Et finalement, les échanges sont devenus collectifs, ce qui confirme le rôle de plateforme de discussion de la maquette.

17 Par ailleurs, au cours de ces échanges entre participants, le chercheur a accès directement aux savoirs et savoirs-faire : il peut ainsi complémenter ses informations, qu'il pourra réinjecter dans un second temps dans le modèle afin d'obtenir une nouvelle maquette. Le rôle communicationnel de la maquette est donc évolutif (de Noray, 2000)

Démobilisation sur le long terme

18 Le manque de motivation de la part des participants apparaît comme le principal problème auquel le groupe Cerdin a dû faire face. Ce problème de mobilisation de la collectivité scientifique sur le long terme risque de fragiliser la mise en œuvre future d'un éventuel projet de développement qui voudrait impliquer la recherche. Par ailleurs, la question du partage des financements entre instituts, entre disciplines, est aussi apparue comme une contrainte forte dans ce type de démarche. En fait, il semble que la difficulté vienne aussi de l'absence d'une structure dirigeante forte. A ce propos par exemple, la mise en place des contrats de rivière créés en France en 1981 a mis en exergue que la concrétisation de tels projets « relève bien plus de la psychologie et de la sociologie que des sciences ou des techniques pures » (Tricot, 1994).

19 Enfin, si la constitution du groupe Cerdin a permis d'identifier une fonction de recherche pour le développement, le projet de recherche (Gihrex et la zone atelier) n'a pas réussi à créer des conditions d'opérationnalités d'un vrai projet de développement.

Conclusion

Des connaissances et des outils pour informer et partager les savoirs

20 On peut conclure en disant que le projet Gihrex a formalisé les impacts de changements de la disponibilité en eau sur le développement durable des sociétés utilisant les ressources du delta, en fournissant : (1) les moyens d'acquisition et de classement des connaissances sur la nature et les sociétés (participant alors aux efforts d'inventaire et de suivis), (2) les moyens d'analyses dynamiques des impacts climatiques et des aménagements hydroagricoles (permettant d'envisager diagnostics et thérapies) par des outils aussi complexes que la modélisation intégrée et le suivi satellitale, et enfin (3) les moyens de formation de cadre à la gestion environnementale.

21 Ainsi sur des aspects purement scientifiques ou technologiques, le projet Gihrex a pu réaliser ses objectifs, bien que l'on puisse constater que la réalisation fonctionnelle de la maquette Midin a pris le pas sur la publication scientifique et que la dispersion de l'équipe de recherche dès les financements du projet finis n'a pas permis une valorisation totale de toutes les capacités de la maquette. Par ailleurs, avec les tests communicationnels de la maquette et l'observatoire de la pêche, on a montré que la connaissance scientifique « bien » organisée – c'est-à-dire organisée de façon compréhensible par les acteurs et en réponse à leurs questions finalisées – et la modélisation intégrée peuvent participer ensemble aux processus dynamiques de l'élaboration des choix de stratégies.

22 Cependant, tout cela reste insuffisant car le facteur humain est primordial en tant que moteur des motivations. En effet, la gestion intégrée est un processus continu et itératif, qui nécessite de la part de la recherche de s'installer dans la durée et la confiance, si elle veut jouer le rôle actif que la société civile lui demande.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bousquet F., Barreteau O., Mullon C, Weber J., 1998 – « Modélisation d'accompagnement : systèmes multi-agents et gestion des ressources renouvelables ». *In : Quel environnement au 21e siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie,* actes de colloque, Hermès, Paris, 10 p.

Carbonnel J.-P., Deffontaines J.-P., Kalaora B., 2001 – « Déserts et eaux », vers une approche globale ou les leçons d'un dialogue pluridisciplinaire franc– égyptien. *NSS,* 9 (2) : 61-64.

Castella J.-C, Husson O., Le Quoc Doanh, Ha Dinh Tuan, 1999 – Mise en œuvre de l'approche écorégionale dans les montagnes du basin du fleuve Rouge au Vietnam : le projet systèmes agraires de montagne. *Les Cahiers de la recherche développement,* Cirad, Paris, 45 : 114-133.

Décamps H., 2000 – Expertise en situation d'incertitude : l'exemple des eaux continentales. *NSS,* 8 (3) : 46-50.

Duvail S., Mietton M., Gourbesville P., 2001 – Gestion de l'eau et interactions société-nature : le cas du delta du Sénégal en rive mauritanienne. *NSS,* 9 (2) : 5-16.

Kalaora B., Charles L., 2000 – Intervention sociologique et développement durable : le cas de la gestion intégrée des zones côtières. *NSS,* 8 (2) : 31-38.

Jollivet M., 2001 – Le traitement du long terme et de la prospective dans les zones ateliers. *NSS,* 9 (3) : 71-72.

Klein J. T., 1996 – *Crossing boundaries : knowledge, disciplinarities and interdisciplinarities.* Univ. Press of Virginia, Charlottesville, 450 p.

Kuper M., Orange D., Mullon C, Poncet Y., Morand P., 1999 – « Modélisation intégrée d'un écosystème inondé et gestion des eaux : le cas du delta Intérieur du Niger au Mali ». *In : Actes des journées scientifiques FRIEND-AOC,* (Séminaire sur les ressources en eau de l'Afrique occidentale et centrale, projets FRIEND/AOC et ZTH, Yaoundé, 30 nov. – 2 déc. 1999), Publ. Unesco, 1999 : 11 p.

Kuper M., Mullon C, Bousquet F., Poncet Y., 2001 – « Natural resource management using integrated modelling : the case of the Niger river inland delta ». *In : Modsim'2001*, International congress on modelling and simulation, Camberra, Dec. 2001.

Laloë F., 1999 – Le statut de la modélisation dans une démarche interdisciplinaire. *NSS,* 7 (4) : 5-13.

Lévêque C. *et al.*, 2000 – Les zones ateliers, des dispositifs pour la recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. *NSS,* 8 (4) : 44-52.

Noray M.-L. (de), 2000 – *Rapport d'expertise pour Gihrex-IRD : session d'échange et de formation autour de la maquette MIDIN.* Études et rapports Gihrex, ER57, IRD, Bamako, Mali, 36 p.

Orange D., 1999 – *Identification et cadrage du projet EIDES-Din (Étude intégrée de la dynamique des processus écobiophysiques et socio-écologiques d'une zone humide tropicale : le delta intérieur du Niger).* Études et rapports Gihrex, ER42, IRD, Bamako, Mali, 115 p.

Orange D., 2000 – *Rapport d'activités ZADIN, année 1999.* Études et rapports Gihrex, ER48, IRD, Bamako, Mali, 33 p.

Petschel-Held G., Block A., Cassel-Gintz J. M., Kropp M., Lüdeke K. B., Moldenhauer O., Reusswig F., SchelInhuberH. J., 1999 – Syndromes of global change : a qualitative modelling approach to assist global environmental management. *Environmental modelling and assessment,* 4 : 295-314.

Pohl C, 2001 – How to bridge between natural and social sciences ? *NSS,* 9 (3) : 37-46.

Poncet Y., Orange D., 1999 – L'eau, moteur de ressources partagées : l'exemple du delta intérieur du Niger au Mali. *Aménagement et Nature,* 132 : 97-108.

Poncet Y., Kuper M., Mullon C., Morand P., Orange D., 2001 – « Représenter l'espace pour structurer le temps : la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Lardon S., Maurel P., Piveteau V. (éd.) : *Représentations spatiales et développement territorial,* Paris, Hermès, chapitre 7 : 143-162 et planches IV-V.

Poncet Y., Kuper M., Mullon C, Orange D., 2002 – « Modelling a large tropical flooded area : a transdisciplinary approach ». *In : 3rd Int. Conf. on Water resources and environmental research* (ICWRER), Dresden, Germany, 22-26 July 2002.

Rabbinge R., Leffelaar P. A., Latesteijn H. C. (van), 1994 – « The role of Systems analysis as an instrument in policy making and resource management ». *In* Goldsworthy P., Penning de Vries F. W. T. (éd.) : *Opportunités, use and transfer of Systems research methods in agriculture to developing countries,* actes atelier ISNAR, La Hague, 22-26 November 1993, Systems approaches for sustainable agricultural development, 3 : 67-79.

Röling N., 1994 – « Platforms for decision-making about ecosystems ». *In* Fresco L. O. *et al.* (éd.) : *The future of the land : mobilising and integrating knowledge for land use options,* John Wiley and Sons Ltd., UK : 385-393.

Roybin D., Fleury P., Béranger C, Curtenaz D., 2001 – Conduite de recherches pluridisciplinaires en partenariat et apprentissages collectifs : le cas du GIS Alpes du Nord. *NSS,* 9 (3) : 16-28.

Tricot B., 1994 – « Philosophie générale et enjeux des contrats de rivières ». *In : Les contrats de rivières,* Environnement et société, FUL, Luxembourg, 13 : 7-8.

Wit C. T. (de), Keulen H. (van), Seligman N. G., Spharim L., 1988 –Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. *Agricultural Systems,* 26 : 211-230.

NOTES

1. Morand P., ce volume – « Interfaces d'échange de l'information environnementale ». *In : partie 4.*

2. Mullon C, Garcia S., ce volume – « Quelques questions et propositions sur le montage des observatoires environnementaux ». *In : parite 5.*

3. Kuper M., Million C, Poncet Y., Benga E., Morand P., Orange D., Mahé G. Arfi R., Bamba F., ce volume – « La modélisation intégrée d'un écosystème inondable : le cas du delta intérieur du Niger ». *In : partie 4.*

4. Morand P., Kodio A., Niaré T., ce volume – « Vers un observatoire de la pêche dans le delta intérieur du Niger : méthodes, résultats et enseignements d'un dispositif environnemental ». *In : partie 4.*

5. Dzéakou P., Morand P., Mullon C, Poncet Y., Derniame J.-C, ce volume – « Architecture d'infothèque pour le partage et la diffusion de résultats de recherche : le cas de la communauté scientifique autour du delta intérieur du Niger ». *In : partie 4.*

AUTEUR

DIDIER ORANGE

Hydrologue. IRD, Université Paris VI, Case 120, Tour 26-25, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex, France, orange@ird.fr

Agence du fleuve Niger au Mali

Un appui à la protection du fleuve et à la gestion durable des ressources de son bassin

Alain Gerbe et Seydou Bouaré

1 Le bassin du fleuve Niger au Mali (570 000 km^2), renferme une partie essentielle des richesses du pays, et constitue un atout majeur pour le développement du pays, dont il relie les zones humides du Sud aux régions désertiques du Nord. Il se comporte comme une artère nourricière qui entretient les conditions de vie pour l'homme, et abrite une faune et une flore riches en espèces et en écosystèmes. Le long des 1 750 km de son cours, le Niger est le principal pourvoyeur en eau d'irrigation du Mali, notamment à travers les prélèvements de l'Office du Niger.

2 S'étendant sur plusieurs zones climatiques, la vallée du fleuve est soumise à des sécheresses périodiques. Le déficit pluviométrique observé depuis 1965 et la décroissance des débits enregistrés depuis 1970 ont multiplié les impacts négatifs : avancée des dunes dans le lit majeur du fleuve, assèchement des lacs, réduction de la surface et de la durée des inondations, dégradation de la végétation, raréfaction de certaines espèces animales. Les conséquences pour l'homme sont la détérioration de ses conditions de vie déjà précaires, entraînant un exode massif de populations vers les villes, les régions et les pays moins défavorisés.

3 Les activités de développement ont, pour la plupart, été conçues et mises en œuvre, sans concertation et sans que soient pris en considération leurs impacts sur le système hydraulique du fleuve et sur l'environnement du bassin. La coordination quasi-inexistante entre les différents secteurs à l'intérieur du bassin entraîne de graves inconvénients comme l'absence de vision globale des ressources en eau et de leurs usages, une solidarité insuffisante entre les usagers de l'amont et de l'aval (à laquelle s'ajoute le manque de coopération avec les autres pays riverains du fleuve), les gaspillages sources de conflits et les pollutions.

4 C'est pour apporter une réponse à ces problèmes et pour mettre en œuvre une gestion globale et intégrée des ressources du bassin du fleuve Niger que l'Agence du fleuve Niger a été créée en 2002 par le gouvernement malien. Elle sera pilotée par un comité de bassin,

véritable parlement de l'eau où siégeront les utilisateurs, les collectivités territoriales et l'administration.

5 Les spécificités des quatre grands sous-ensembles du fleuve Niger que sont le haut-Niger, le delta central, la Boucle du Niger et le Bani (principal affluent du Niger) seront pris en compte par des démembrements de l'Agence du fleuve Niger et du comité de bassin. Les zones d'intervention sont les lits mineur et majeur du fleuve, ses affluents et la partie de son bassin versant qui interagit activement avec ces derniers.

6 Les objectifs spécifiques de l'Agence, sous l'autorité du comité de bassin, sont les suivants :

- assurer la préservation du fleuve en tant qu'entité vitale du pays et protéger les écosystèmes terrestres et aquatiques ;
- renforcer les capacités de gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques ;
- valoriser les ressources en eau ;
- prévenir les risques naturels (inondation, érosion, sécheresse) et lutter contre les pollutions et nuisances ;
- assurer par une démarche partenariale avec les différentes catégories d'usagers la satisfaction de leurs besoins en eau.

L'Agence du fleuve Niger : un outil opérationnel régional

7 L'Agence du fleuve Niger sera un outil opérationnel relayé par quatre antennes régionales selon les spécificités des sous-bassins. En tant qu'établissement public, fonctionnant sous la tutelle du Ministère de l'équipement, de l'aménagement du territoire, de l'environnement et de l'urbanisme, l'agence mènera les cinq types d'actions listées ci-dessous.

1. Elle mettra en œuvre un *observatoire opérationnel* de l'état et de l'évolution de la ressource en eau, des milieux physiques et biologiques associés, des contraintes et des menaces qui perturbent les équilibres naturels et des usages de l'eau. Cet observatoire devra effectuer des études prospectives sur l'évolution de la ressource en eau du fleuve et des milieux naturels. Il gérera, dans un objectif opérationnel, les modèles de fonctionnement du fleuve. Il promouvra la réalisation d'études d'impact et de scénarios de simulation concernant les projets d'aménagement.
2. Elle sera un *outil d'évaluation, de proposition, de coordination et d'amélioration* des pratiques concernant les aménagements et les gestions pour :

- le renforcement des capacités de gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques ;
- la lutte contre les pollutions, la protection et la restauration des écosystèmes et des espaces naturels ;
- la réduction des pertes et des gaspillages et l'amélioration de l'efficience des usages ;
- la mise en œuvre des aménagements hydrauliques.

1. Elle sera un *centre de décision* technique pour les mesures à prendre pour la gestion de l'eau, au niveau des différents utilisateurs, lorsque ces mesures influencent le fonctionnement global du système hydrique :

- gestion des retenues d'eau aux niveaux des grands barrages ;
- gestion des prélèvements d'eau des grands offices de culture irriguée.

1. Elle gérera un *outil financier* de perception de redevances auprès des organismes publics ou privés en fonction des perturbations que leurs activités entraînent pour les milieux, et

assurera la redistribution des moyens ainsi collectés pour la préservation, l'aménagement et la gestion du fleuve.

2. Elle assurera la *diffusion de l'information* auprès des populations, des usagers, des services publics et des partenaires au développement sur l'état du fleuve Niger, sur les problèmes rencontrés et sur les initiatives prises pour la gestion et l'aménagement du fleuve.

Le comité de bassin : une instance de d'orientation, de décision et d'arbitrage

8 Dans le cadre du bassin hydrographique du fleuve Niger, la politique de l'eau est conduite par le comité de bassin, où siègent des représentants de toutes les catégories d'usagers de l'eau. Le comité pilotera les actions de l'agence et nommera son conseil d'administration. Le comité est consulté sur les grandes options de la politique de l'eau dans le bassin, il approuve les programmes d'intervention de l'agence, donne son avis conforme pour que les décisions du conseil d'administration relatives aux redevances soient appliquées, suit l'exécution du ou des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux.

9 <partie de texte effacée>

10 Le comité de bassin est composé pour un tiers de représentants des collectivités territoriales, pour un tiers de représentants des usagers de l'eau et pour un tiers de représentants de l'administration. Il fait appel, autant que de besoin et à titre consultatif, à des représentants des milieux scientifiques et des opérateurs du développement.

L'Agence du fleuve Niger : un outil de liaison international

11 Sur le plan des coopérations internationales, le bassin du Niger étant partagé entre huit pays de l'Afrique de l'Ouest, l'Agence du fleuve Niger établira des coopérations avec ses homologues ou les organismes compétents dans les autres pays engagés dans l'Autorité du bassin du Niger (ABN), notamment avec la Guinée en amont et le Niger en aval.

AUTEURS

ALAIN GERBE

Conseiller ministériel

Conseillers spéciaux au ministère de l'Équipement, de l'Aménagement du territoire, de l'Environnement et de l'Urbanisme, Gouvernement du Mali.

. Scac, Ministère chargé de l'Environnement, Bamako, Mali, agerbe@cefib.com

SEYDOU BOUARÉ

Conseiller ministériel

Conseillers spéciaux au ministère de l'Équipement, de l'Aménagement du territoire, de l'Environnement et de l'Urbanisme, Gouvernement du Mali.

. Ministère chargé de l'Environnement, BP 2220, Bamako, Mali,
nlgovbam@afribone.net.ml

Zone tropicale humide

Recherche et développement pour l'environnement en Afrique sub-saharienne

Emmanuel Naah

Caractéristiques générales de la zone tropicale humide

1 La zone tropicale humide constitue l'ensemble climatique le plus vaste existant à la surface du globe et l'unique qui soit d'un seul tenant puisqu'il s'étend à peu près symétriquement de part et d'autre de l'équateur. On peut considérer que la zone tropicale humide au sens large couvre les régions situées aux basses latitudes, où la pluie est assez abondante pour permettre à leurs habitants de vivre des produits d'une agriculture non irriguée, ce qui en exclut certaines étendues sèches comprises entre les deux tropiques.

2 Cette zone se définit comme la partie de la surface terrestre qui, deux fois par an, reçoit perpendiculairement à midi les rayons du soleil quand celui-ci passe au zénith. Elle s'étend au total sur 46°55' de latitude, symétriquement de part et d'autre de l'équateur. Pendant toute l'année, par conséquent et sur toute l'extension de la zone tropicale, le soleil s'élève chaque jour haut dans le ciel : il n'y a pas de véritable hiver.

3 Ces faits fondamentaux expliquent que la zone tropicale soit une zone chaude et à saisons thermiques peu contrastées. Elle est par contre marquée par des contrastes pluviométriques considérables. Soumise dans l'ensemble à une circulation atmosphérique d'orientation est-ouest (les alizés), la zone tropicale est très pluvieuse là où ces vents sont chargés d'humidité (c'est-à-dire surtout sur les côtes orientales des continents) et là où ils tendent à s'élever soit par convergence aux latitudes équatoriales, soit à la rencontre d'obstacles orographiques. Le balancement zonal saisonnier fait qu'une grande partie des régions tropicales sont alternativement soumises à des séries de mois arides et pluvieux.

4 Cette vaste zone embrasse en vérité des milieux naturels assez divers qui n'ont en commun que leur température élevée tout au long de l'année. Là où la forêt dense et toujours verte existe avec ses innombrables espèces, sa richesse et les sévères obstacles qu'elle oppose à l'occupation humaine, on a l'une des faces de la zone tropicale humide.

L'autre est celle des forêts claires, des savanes et des étendues herbeuses des plaines d'inondation où les feux de brousse allumés par des chasseurs ou des agriculteurs opèrent, à la longue, une sélection d'arbres pyro-résistants et élargissent les clairières d'herbes drues et sèches. Ses cours d'eau sont aussi parmi les plus grands du monde à l'instar du fleuve Congo et du fleuve Niger.

5 En dehors de ce passage graduel au monde de l'aridité, bien des nuances existent aussi bien en latitude qu'en altitude, car les hautes terres tropicales voient s'élargir en raccourci tous les climats jusqu'à la désolation des neiges perpétuelles de certaines montagnes d'Afrique orientale. La jeunesse tectonique et les accumulations volcaniques introduisent ainsi dans la zone tropicale des ilôts ou des chaînons de climats où le soleil passe au zénith sur des montagnes couvertes de glace.

L'avenir du monde tropical : un besoin de « bonnes » données

6 La combinaison persistante de chaleur et d'humidité explique l'exubérance de la vie qui anime les milieux tropicaux, exubérance en partie favorable aux sociétés humaines qui s'y sont installées, en partie source de difficultés et de périls pour elles. Plus de la moitié de la population y vit en Afrique et déjà 50 % ou plus de la population mondiale s'y trouveront bientôt rassemblés.

7 Le monde tropical souffre actuellement d'un état de déséquilibre progressivement aggravé par la pénétration plus profonde d'une civilisation moderne et par un manque de données, – de « bonnes » données –, sur l'écologie de ses ressources et sur les problèmes à résoudre pour pouvoir les exploiter de manière durable.

8 Ces problèmes sont d'ordre socio-culturel et environnemental. Ils sont pratiquement tous en rapport direct avec les ressources en eau et résultent des fortes pressions provenant de la croissance de la population, de l'utilisation des sols ou des conséquences d'une gestion inadéquate des ressources en eau dans l'exécution des plans d'aménagement de territoire. On retient parmi ces problèmes ceux concernant le rôle que jouent les différentes couches de la population dans la gestion des ressources naturelles, – et notamment pour satisfaire les besoins fondamentaux des familles en eau, nourriture, combustible. On peut citer la déforestation et reforestation, la pollution de l'eau en milieu urbain et rural, l'assainissement, l'hygiène et la santé, la gestion des zones humides et de leurs écosystèmes... Les interrelations entre la croissance de la population, la conversion des forêts, les pratiques culturales et les ressources en eau sont extrêmement complexes. Leur signification globale est que les activités humaines pourraient jouer dans la zone tropicale humide un rôle crucial dans le changement climatique mondial et plus particulièrement dans la production des gaz à effet de serre qui provoquent le réchauffement global de la planète.

9 Dans le domaine des ressources en eau, beaucoup de problèmes se posent du fait de la plus grande rigueur qui caractérise dans cette zone les évènements hydrologiques : pluies diluviennes, inondations, températures élevées et instabilité du climat, entassement d'un grand nombre d'habitants sur de petites superficies, etc.

10 Quel est donc l'avenir du monde tropical ? Il apparaît assez sombre dans l'immédiat. Le degré relatif de développement économique des pays africains ainsi que la capacité de leurs gouvernements à faire face à ces problèmes hydrologiques extrêmes sont des

éléments qui entrent en ligne de compte. Beaucoup de ces pays ne disposent pas encore des mécanismes et du personnel qualifié nécessaires pour améliorer ce que la nature leur offre.

L'action de l'Unesco dans le cadre du programme hydrologique international (PHI)

11 L'Unesco-PHI a défini son cadre d'action en Afrique sur la base des recommandations et résolutions du colloque international « *Elaboration des stratégies pour l'hydrologie et la gestion des ressources en eau dans les zones tropicales humides* », tenu en Australie en 1989 et des résultats d'une mission d'évaluation effectuée en 1994, sur l'étude hydrologique et les stratégies de gestion des ressources en eau dans les régions tropicales humides de l'Afrique.

12 La connaissance scientifique des interactions entre les sols, la végétation, les océans, l'atmosphère et les activités humaines est l'une des priorités du PHI dans la zone tropicale humide. Ces problèmes sont très complexes et nécessitent une approche multidisciplinaire dans un cadre de coopération régionale et internationale sous-tendu par un réseau d'experts et d'organismes de recherche dans la sous-région.

13 A la longue, l'Unesci-PHI cherche à mettre en application les résultats des recherches hydrologiques dans les stratégies développées pour la gestion des ressources en eau dans la zone tropicale humide. Celles-ci comprennent : l'amélioration de la production agricole, la fourniture de l'eau pour l'irrigation et pour la consommation humaine, la maîtrise des problèmes urbains, la mise en place des pratiques d'utilisation des sols qui permettent en même temps de satisfaire les besoins et de réduire les dégâts occasionnés par les inondations, la dégradation des sols et de l'eau. Il va de soi qu'une gestion de l'eau dans la zone tropicale humide aurait certainement des retombées positives dans les régions n'appartenant pas à cette zone.

14 En s'adressant aux problèmes des ressources en eau dans cette zone, l'Unesco-PHI s'est choisi 3 axes d'approche à développer d'une manière concertée et en coopération. Le premier est d'ordre scientifique. Il met l'accent sur la recherche hydrologique, dans la mesure où elle est à la base de toutes les autres actions qui devraient être entreprises. Le second est consacré à la gestion des ressources en eau à laquelle sont confrontés les planificateurs, preneurs de décisions, les techniciens et les politiciens. En dernier lieu, il y a l'axe portant sur la diffusion de l'information, la formation, le renforcement des capacités, des échanges d'expériences et de connaissances.

15 L'Unesco avait donc été amenée à lancer dès 1994 en Afrique de l'Ouest et du Centre, et bien après en 1997 en Afrique de l'Est, le programme « Zone tropicale humide ». L'objectif de ce programme est d'amener les chercheurs africains, les planificateurs et preneurs de décisions à disposer dans le domaine de l'hydrologie et de la gestion des ressources en eau, des données fiables et des méthodes appropriées pour faire face à l'accroissement de la demande prévisible dans les régions tropicales humides. Ce programme vise notamment à :

- évaluer à court et long termes la vulnérabilité de l'environnement des ces régions aux différentes techniques d'utilisation des sols et de l'eau, afin d'en assurer un développement durable ;

- mettre en place des réseaux regroupant des experts de l'eau et des organismes de recherche sur l'hydrologie et la gestion de l'eau dans les zones tropicales humides ;
- évaluer, comprendre et définir la variabilité spatiale et temporelle des paramètres hydrologiques clé et élaborer des modèles des processus hydrologiques de ces régions à différentes échelles ;
- évaluer l'impact des activités humaines sur le cycle hydrologique des forêts tropicales pour mieux comprendre le système climatique mondial.

16 Outre la nécessité générale de renforcer les capacités humaines et d'agrandir le champ de transfert des connaissances et des technologies qui s'impose en Afrique, ce programme a permis d'identifier en Afrique quelques-uns des problèmes les plus urgents en matière d'hydrologie et de gestion des ressources en eau, qui nécessitent une connaissance approfondie. Ils avaient été regroupés en cinq principaux thèmes suivants :

- gestion intégrée des ressources en eau des bassins versants ;
- gestion et protection de la qualité de l'eau ;
- utilisation des sols et leurs impacts sur les régimes hydrologiques ;
- gestion et protection des zones humides inondables ;
- eaux souterraines : évaluation et recharge.

Conclusion

17 Dans la zone tropicale humide, les ressources en eau ont une part importante dans l'organisation de la société, tout comme dans les régions sèches. Aussi les zones humides inondables se sont avérées être une priorité pour le développement de ces régions. Or la clé de la maîtrise de l'eau – et des ressources naturelles et de leur gestion durable réside dans la réalisation des études concertées et menées en coopération, le tout étant basé sur des banques de données de longue durée fiables.

18 D'autre part, que l'on s'occupe des problèmes de gestion d'irrigation, d'étude des bilans d'eau, d'analyse technique des données, de contrôle de la pollution, des études d'impact de l'environnement, l'approche devrait toujours être la même : comprendre les processus mis en jeu et trouver les moyens d'appliquer la connaissance acquise en ayant toujours en tête que la primauté est à l'acteur sur le terrain. Il importe d'abord de lui donner les informations dont il aura besoin pour prendre lui-même ses décisions.

19 Aussi, le manque de « bonnes » données sur l'écologie et sur les problèmes à résoudre milite très fermement pour la construction sur le long terme de bases de données fiables et interactives, conditions nécessaires à un développement durable des stratégies d'exploitation des zones inondables tropicales.

AUTEUR

EMMANUEL NAAH

Hydrologue, Unesco-PHI. Unesco, Bureau régional Afrique, BP 30592, Nairobi, Kenya,
E.Naah@unesco.org

Conclusion générale. Quel cadre décisionnel pour une gestion intégrée des zones inondables tropicales ?

1 Les zones inondables tropicales sont des zones de concentration exceptionnelle en ressources naturelles renouvelables. Ces zones souvent exploitées sont des lieux où se sont développées des sociétés complexes dont les activités sont fortement tributaires de la grande diversité et de la grande variabilité des processus naturels liées d'une part, à la saisonnalité de l'inondation – pour la variabilité temporelle – et d'autre part, au compartimentage géomorphologique – pour la variabilité spatiale (cf. partie 2). Les zones inondables sont donc des foyers de concentration de phénomènes vitaux complexes, dotés d'une ressource passagère qui est l'eau. Ce sont aussi des espaces médians *inter* et *intra* : vers l'extérieur, ce sont des milieux « interfaces » entre plusieurs écosystèmes ; mais ce sont également des zones d'échanges et de mélanges. Aussi leur gestion implique plus qu'ailleurs une approche systémique assumant à la fois connaissance du milieu naturel et des sociétés exploitantes, et connaissance des dynamiques des processus naturels et des stratégies d'exploitation des usagers (cf. partie 3).

État des connaissances : des espaces sociaux et naturels complexes

2 L'extrême variabilité des situations implique la multiplicité de niveaux de gestion fonctionnels à des degrés divers et parfois réellement complémentaires, mais qui ne sont pas tous coordonnables entre eux, parce qu'ils n'appartiennent pas aux mêmes logiques – écologiques, historiques, administratives, politiques, etc. De plus, l'aspiration sociale vers une croissance durable ajoute à l'action de développement une contrainte temporelle nécessitant une vision à long terme et une contrainte d'équité impliquant un partage souhaité comme consensuel. Les politiques d'aménagement des zones inondables tropicales devront donc apporter les solutions aux deux problèmes associés que sont les

concurrences – voire les conflits – sur un même espace productif et l'harmonisation des stratégies et des décisions sur plusieurs échelles d'espace et de temps. Les voies d'action pour résoudre ce paradoxe entre « gestion intégrée » et « gestion locale » sont encore à trouver (cf. partie 1). Dans un tel processus, les sciences sociales deviennent moteurs et accompagnateurs permanents de l'action de développement. En effet, « les sciences sociales interviennent ici dans les procédures de mise en exercice et de suivi des gestions intégrées sur les zones inondables tropicales en s'associant aux sciences biologiques, physiques et techniques » (Poncet, ce volume)[1].

3 Notons aussi que les enjeux économiques des zones inondables sont considérables car leurs productions sont essentiellement vivrières en même temps que diversifiées : poisson, riz, viande, lait, fourrage, bois... Par ailleurs les dimensions et les contradictions multiples liées à leur gestion encouragent les acteurs du développement à expérimenter des approches résolument intégratrices parmi lesquelles les approches économiques, non abordées dans cet ouvrage, prennent évidemment place. En effet, la notion de capital naturel peut être appliquée avec pertinence aux zones inondables. Elle permet alors de montrer que la zone inondable a une valeur (en termes de capital, de productions et de services), de quantifier cette valeur et d'en tenir compte dans les projets d'aménagements et de gestion par notamment l'évaluation des impacts et des risques. L'estimation des fonctions et des valeurs naturelles et sociales de la zone inondable est alors l'un des outils de la gestion intégrée.

4 Mais la valeur de la zone inondable n'est pas aisément quantifiable du fait de la variabilité de sa productivité, tant spatiale que temporelle. En effet, l'édification de ses ressources naturelles renouvelables est hautement dépendante de paramètres aussi divers que la pluviométrie de la zone amont d'apport en eau (extérieure à la zone inondable) ou que l'aménagement hydroagricole d'une plaine appartenant à la zone inondable. Cette diversité de situations, rarement transférables d'une année sur l'autre, apparaît comme chaotique (à tout le moins très complexe) dès lors que l'on veut entrer dans le détail de la compréhension fine des mécanismes de sa productivité. Aussi il semble essentiel d'aborder le fonctionnement écologique des zones inondables tropicales par la réalisation de « modèles conceptuels liant l'édification spatiotemporelle des ressources naturelles exploitables à la disponibilité en eau et en éléments dissous en prenant en compte la production primaire et la production macrophytique, cette dernière semblant être essentielle en milieu tropical » (Arfi, ce volume)[2]. Le but d'une telle démarche est de définir des indices de sensibilité afin d'identifier les seuils de tolérance des écosystèmes étudiés, vis-à-vis notamment d'aléas climatiques, de stratégies d'exploitation ou encore d'options d'aménagement.

5 Cependant, si la variabilité spatio-temporelle de la productivité des zones inondables est encore aujourd'hui difficilement prévisible, tant les processus sont complexes et interchangeables, il faut reconnaître que les stratégies locales d'exploitation intègrent largement les aspects multi-échelles dans le temps, dans l'espace et également dans la société. Mais la valeur ajoutée des productions reste encore souvent extrêmement faible. Il en découle des pressions d'aménagement, de maîtrise et de contrôles sur le milieu de plus en plus fortement exercées par les politiques régionales et nationales d'aménagement (pris au sens du développement d'une région d'un pays).

6 Le développement durable des zones inondables tropicales doit donc permettre « la transition entre une situation d'intensification de l'exploitation vers une situation de gestion des ressources renouvelables afin d'assurer de meilleures conditions de vie pour

les populations concernées tout en conservant la biodiversité d'écosystèmes aussi originaux, riches et sensibles que les zones inondables tropicales » (Kuper, ce volume)[3].

Des concepts et cadres de développement à inventer

7 Un schéma multi-causal des impacts environnementaux est maintenant admis par l'ensemble des acteurs du développement. Il est clair que les facteurs sociaux, économiques et écologiques contribuent tous également, mais qu'ils sont à prendre en charge différemment en fonction des lieux, du moment, des interrogations, etc. Bien sûr, les modalités de réalisation sont complexes, et les procédés ou les cadres d'une gestion durable des zones inondables tropicales – c'est-à-dire d'une gestion conjointe de l'eau et des ressources naturelles renouvelables en fonction des attentes des divers acteurs – sont encore à inventer. En effet, au-delà des schémas maintenant classiques de planification utilisés dans tous les « programmes de gestion durable » (réunir les acteurs, rassembler l'information, analyser, définir ensemble un éventail de prospectives), il importe aujourd'hui de définir de nouveaux concepts, cadres et outils : la théorie des systèmes complexes, la modélisation intégrée, les systèmes multi-agents, les systèmes d'information structurés en observatoires, la concertation (dont le rôle peut être aussi de faire circuler l'information, par exemple au sein d'un observatoire) sont autant de moyens susceptibles de rapprocher les points de vue, de créer le dialogue, de résoudre certaines dissensions et d'élaborer des stratégies adaptatives tant aux variabilités naturelles qu'aux stratégies sociales et qu'aux viabilités économiques (cf. partie 5).

8 Cette inter-connectivité des dynamiques sociales, économiques et écologiques conduit donc à associer l'analyse de la dynamique des ressources naturelles renouvelables à celle des acteurs et de leurs décisions. Cela revient à construire des objets complexes représentant une ou plusieurs réalités de l'objet étudié et pouvant, sinon répondre, du moins aider à la prise de décision les experts qui, selon les cas, peuvent être un ou plusieurs acteurs du développement et/ou les usagers. L'utilisation de la modélisation intégrée est donc d'un apport fondamental aussi bien pour la construction de l'objet complexe, pour son utilisation dans des analyses prospectives par simulation que pour créer une plateforme de discussion, amorcer le dialogue. Mais au-delà des objets complexes possibles, la gestion intégrée nécessite « d'instaurer un mode de gestion admettant des objectifs et des critères multiples, et dont les contraintes et les retombées soient acceptables par la majorité des groupes d'intérêt et des communautés d'usagers » (Morand, ce volume)[4]. Cette prise de conscience ouvre des voies nouvelles qui consistent en la création d'outils de suivi, de diagnostic, de prospective et de communication, le tout constituant un ensemble – ou encore « une boite à outils » – d'interfaces d'échange de l'information environnementale permettant de fournir aux structures de décisions, voire à l'ensemble des acteurs, des informations fiables et objectives sur l'état de l'environnement par rapport aux questions posées (cf. partie 4).

9 Il reste à se soucier du transfert de ces outils complexes dans des structures ou missions opérationnelles – de leur appropriation. On peut penser que sous la pression exercée par l'urgence croissante des problèmes environnementaux, les structures adéquates vont émerger dans les années à venir. Cependant la diversité et la complexité des outils possibles semblent impliquer la nécessité de guides de construction et d'accompagnements pédagogiques au sein d'un espace harmonieux et organisé que serait un système d'information environnemental. Ainsi la structure de type « observatoire »

(de l'environnement) apparaît être une solution viable pour réaliser cette approche systémique et inter-niveaux de décisions permettant d'envisager la définition d'une politique environnementale globale dans le cadre d'une gestion intégrée des zones inondables tropicales. « Il n'est donc plus possible, comme par le passé, de dissocier la politique scientifique et technologique de la politique environnementale car la demande sociale les réunit immanquablement » (Orange, ce volume)[5].

Prospectives

10 Ce constat est mis en évidence dans la grille de lecture proposée ci-dessous à partir des conclusions du séminaire :

- la zone inondable tropicale, en tant que système naturel et social, constitue une unité de gestion fonctionnelle pertinente permettant de prendre en considération aussi bien la multiplicité des acteurs que la multiplicité des échelles temporelles et des échelles spatiales : la notion de gestion intégrée se trouve alors parfaitement adaptée au développement durable de ce type d'écosystème ;
- la notion de durabilité implique notamment de définir des politiques à long terme tout en tenant compte de l'évolution des connaissances scientifiques ;
- cette durabilité doit être associée à une approche économique qui induit la nécessité d'études de rentabilité associées aux études environnementales (l'environnement a un coût) ;
- la circulation et la qualité de l'information sont primordiales : le flux de circulation doit être rapide et multi-niveaux, et l'information doit être multi-échelles, pertinente et d'un abord (accès, convivialité, compréhension) adapté au niveau de la demande ;
- l'extrême variabilité impose une réactualisation fréquente des banques d'information et la possibilité d'effectuer un suivi scientifique des mutations au cours du temps, conduisant à des remises à niveaux, ce qui suppose des systèmes de surveillance (et/ou de contrôle) ;
- la diversité et la complexité des ressources vivantes impliquent une multiplicité d'acteurs et donc d'échelles de compréhension : dans ce contexte, la discussion et la négociation sont des exercices majeurs avant – et pour supporter – la prise de décision ;
- la prise de décision étant un processus permanent et pro-actif, l'action de développement s'organise sur le long terme : elle devient alors tributaire de l'évolution des connaissances et demandeuse d'actions de recherche ;
- inversement, la recherche devient acteur du processus de développement pour la construction et l'analyse des prospectives en tant que soutien à la prise de décision, et donc en tant que réponse à la demande directe de la société civile envers le monde scientifique.

11 Il s'agit avant tout de communiquer différemment, notamment en multipliant les supports, ce qui permet de multiplier les échelles d'intervention et de compréhension : ateliers, séminaires, simulations, discussions, rapports écrits, radiodiffusion, etc., autant de liens construits ensemble. Dans ce cadre, « l'observatoire » devient un réel outil de communication qui fait circuler – « remonter » – l'information à tous niveaux d'usagers. La circulation de l'information devient alors agent intégrateur, car élément de dialogue. Par ailleurs, la gestion intégrée, qui est un processus continu, itératif, adaptable et participatif, nécessite aussi et surtout d'impliquer dès le départ l'ensemble des acteurs du développement (notamment les populations locales mais aussi les chercheurs) dans l'élaboration des objectifs de développement durable, afin de définir ou d'identifier les fonctions et usages attendus du système d'information environnemental à construire.

12 Pour le chercheur, l'objectif sera alors de placer la connaissance dans le cadre décisionnel en impliquant le profane dans le débat scientifique. En effet, la demande sociale transforme les contenus et les modes d'intervention de la recherche scientifique ; et en retour les chercheurs modifient la formulation des questions qui leur sont posées. L'amélioration de ce cycle (rapidité de la boucle de retour, fluidité de l'information, diversité des acteurs) sera propice à un meilleur usage des ressources vivantes et à l'amélioration des savoirs et savoir-faire, deux résultats qui satisferont respectivement et conjointement chercheurs et usagers.

13 Hanoi, août 2002

NOTES

1. Poncet Y., ce volume – « Hydrosystèmes, sociosystèmes ». *In : introduction partie 1.*

2. Arfi R., ce volume – « Processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales ». *In : introduction partie 2.*

3. Kuper M., ce volume – « Stratégies d'exploitation en zones inondables tropicales ». *In : introduction partie 3.*

4. Morand P., ce volume – « Interfaces d'échange de l'information environnementale ». *In : introduction partie 4.*

5. Orange D., ce volume – « Vers une identification des voies de recherche et d'action pour une gestion intégrée des zones inondables tropicales ». *In : introduction partie 5.*

Planches couleur

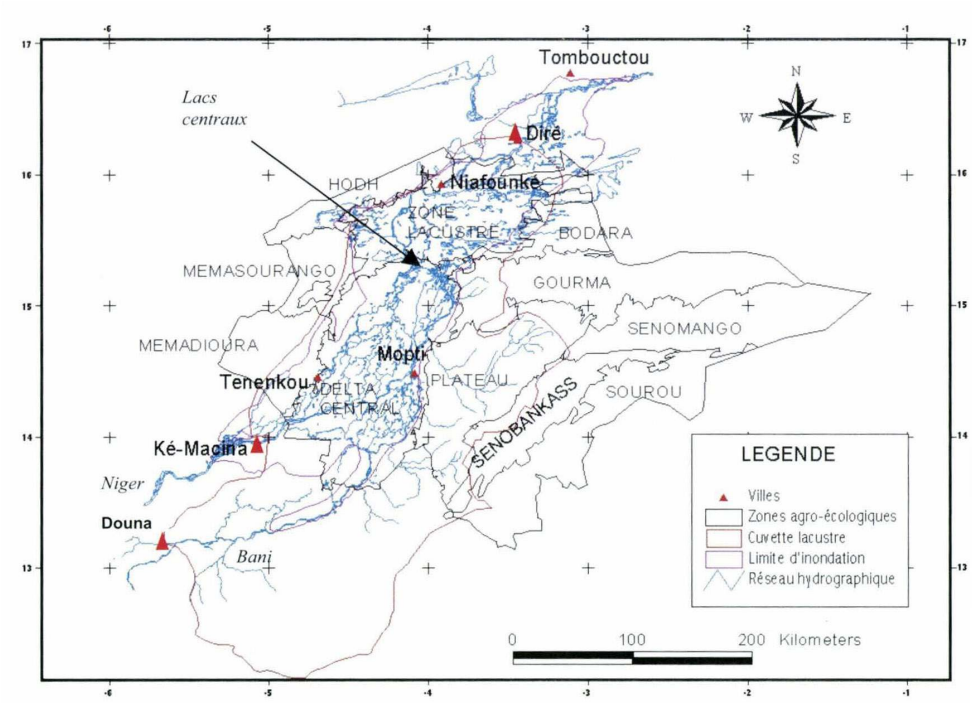


Figure I. Limites géographiques de la « cuvette lacustre » définie comme étant l'impluvium du delta intérieur du Niger (en rouge). La limite maximale d'inondation est en mauve, les zones agro-écologiques concernées sont délimitées en noir.

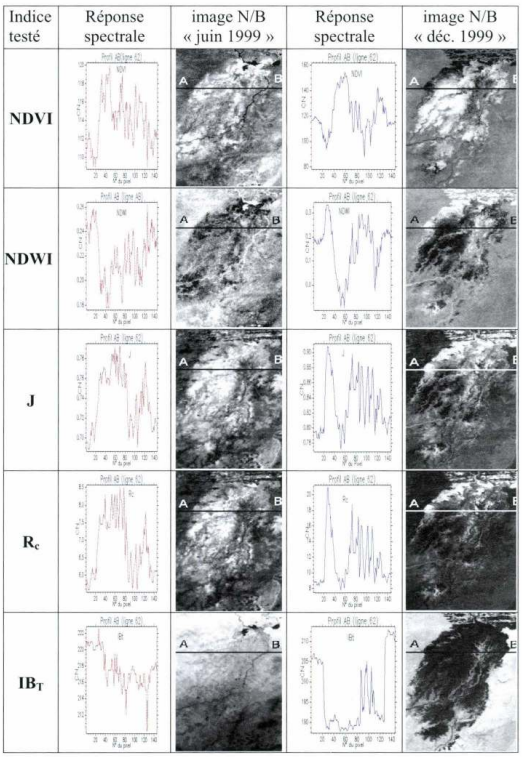


Figure II. Évolution des niveaux de gris des compositions noir et blanc (N/B) entre une image de saison sèche (juin 1999, à gauche) et une image de saison d'inondation (décembre 1999, à droite), selon les indices NDVI, NDWI, J, R et IB_T, et réponses spectrales associées selon un profil ouest-est noté A-B.

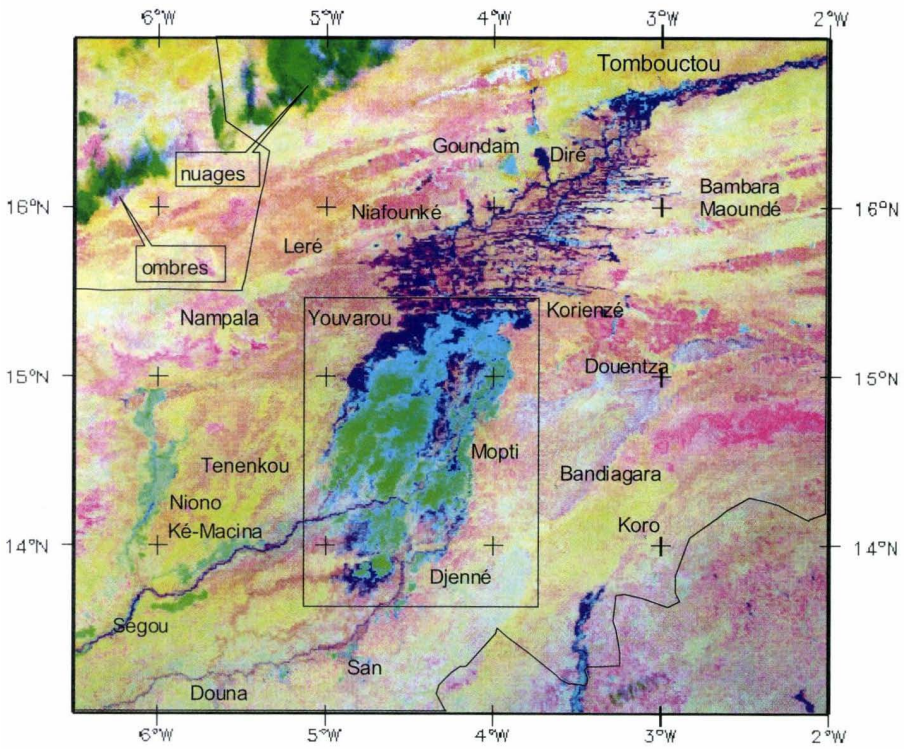


Figure III. Composition colorée du delta intérieur du Niger en période d'inondation (image satellitale de décembre 1999), réalisée à partir des indices IB_T (en rouge), NDVI (en vert) et R_c (en bleu), et indication de la fenêtre d'extraction.

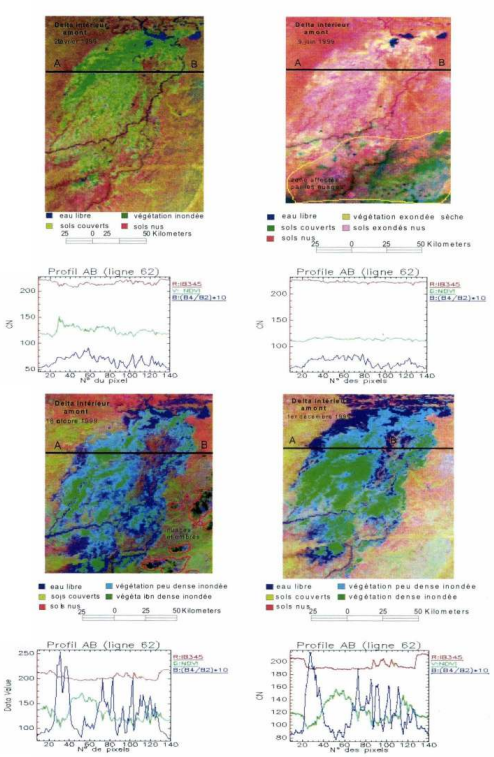


Figure IV. Suivi du front d'inondation sur une séquence d'images colorées réalisées à partir des indices IB_T (en rouge), NDVI (en vert) et R_c (en bleu) de la zone amont du delta intérieur du Niger (selon fenêtre d'extraction de la figure III), représentant les quatre phases majeures du cycle hydrologique annuel (vidange de la plaine en février, assèchement en juin, remplissage en octobre, inondation maximale en décembre), et réponses spectrales sur le profil A-B.

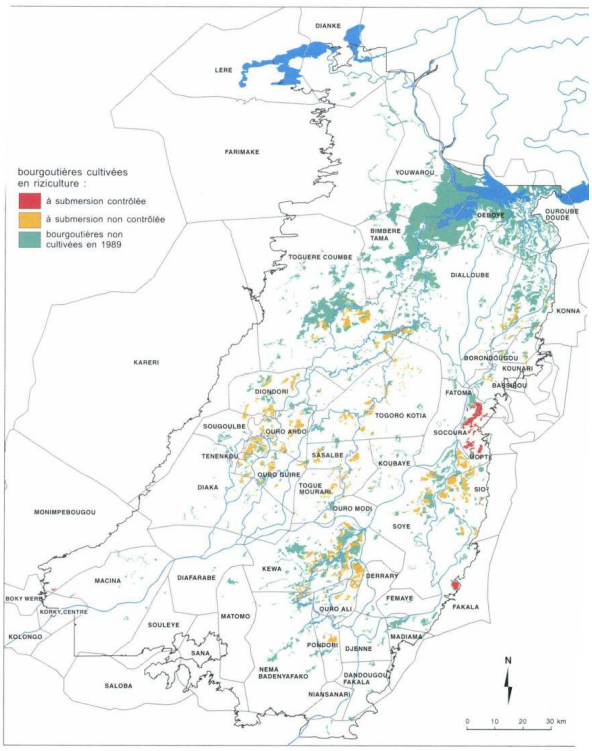
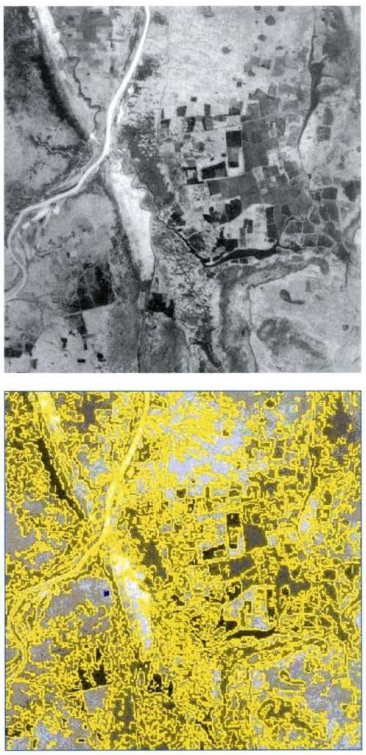


Figure V. État des bourgoutières en 1989 dans le delta intérieur amont du fleuve Niger.



Vue I-a
Vue aérienne d'aires cultivées en riz dans le centre-ouest du delta intérieur du Niger (Mali, région de Mopti).

Vue I-b
Fichier image obtenu après traitement par chaînage et approximation polygonale.

Figure VI. Traitement d'une image par chaînage et approximation polygonale.

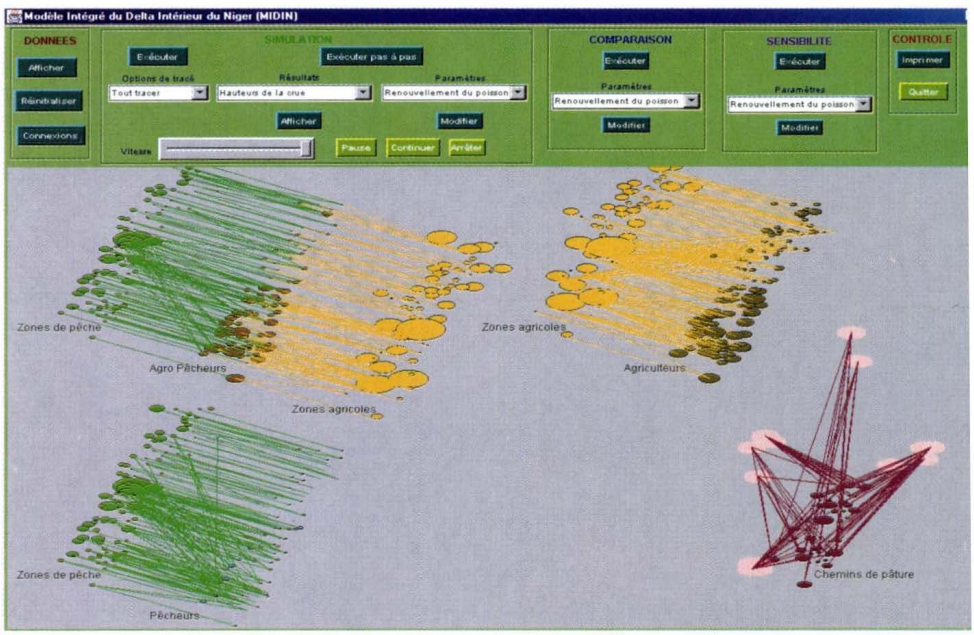


Figure VII a. Figuration par le modèle Midin des connexions entre les groupes de producteurs et les zones exploitables dans le delta intérieur du Niger.

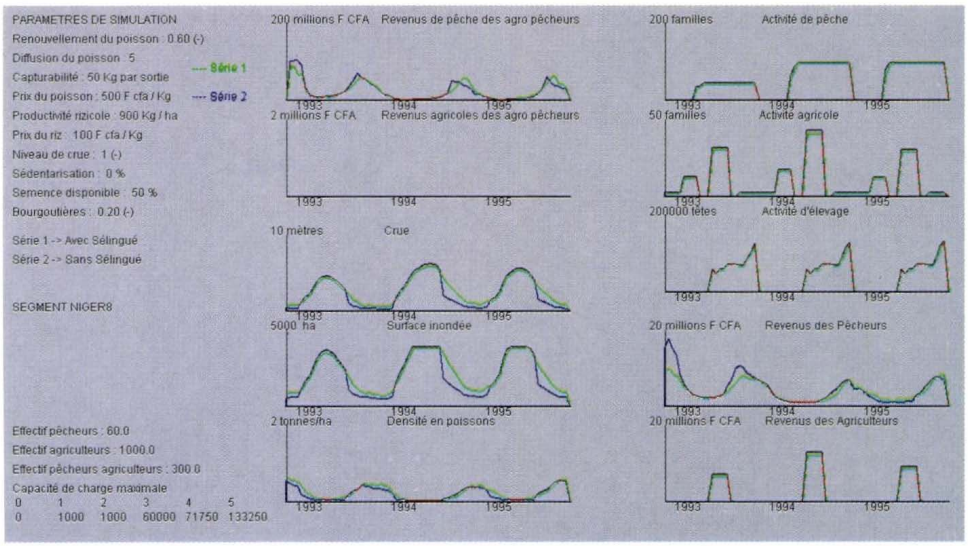


Figure VII b. Résultats de simulation du modèle Midin : impacts des écoulements dans le delta intérieur du Niger sans et avec le barrage amont de Sélingué, sur les activités de pêche et agricoles et sur les revenus des producteurs.

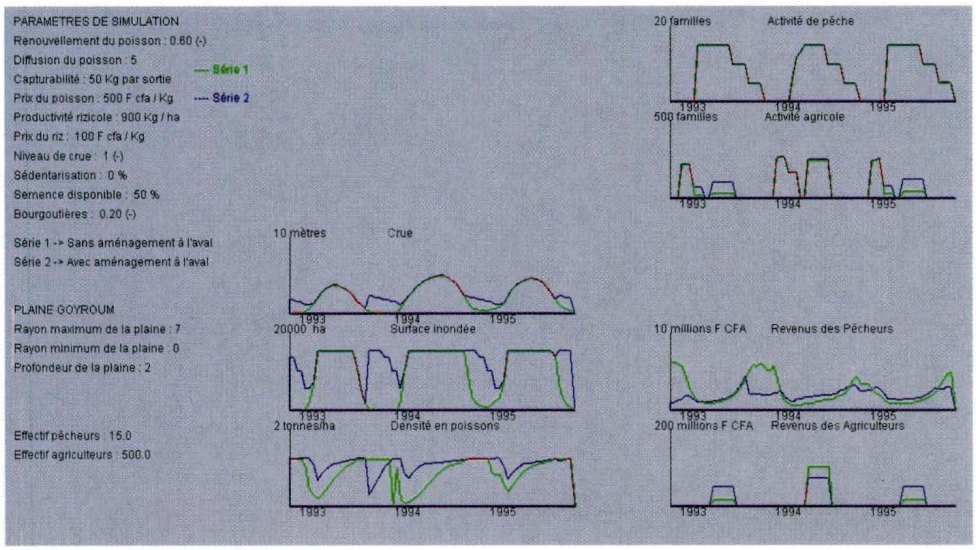


Figure VIII a. Résultats de simulation du modèle Midin : impact d'un barrage à l'aval du delta (cote de retenue de 260 m) sur la surface inondée et les systèmes de production du delta intérieur du Niger. Exemple de la plaine Goyroum.

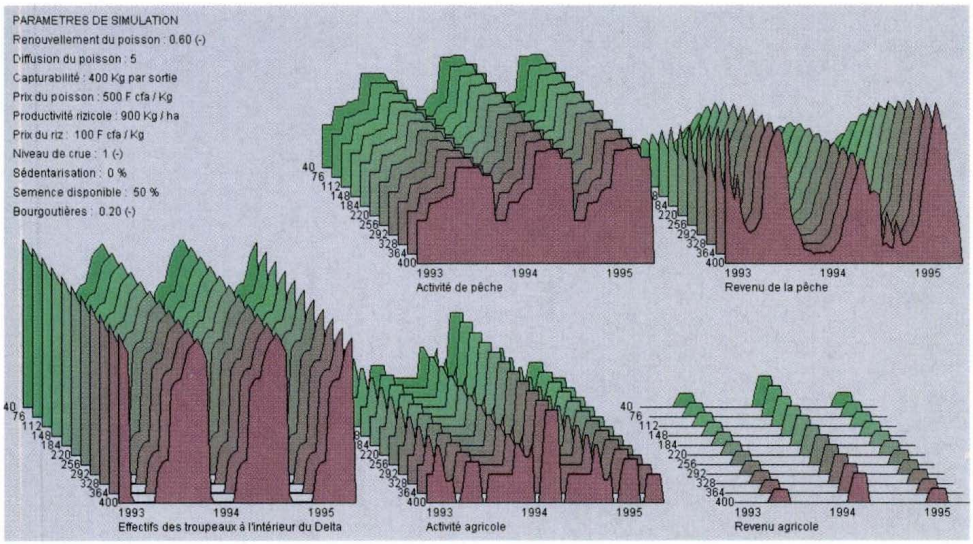


Figure VIII b. Résultats de simulation du modèle Midin : analyse de sensibilité de la capturabilité sur les activités et les revenus de pêche.