Éditeurs scientifiques
J.-P. Profizi, S. Ardila-Chauvet, C. Billot, P. Couteron, M. Delmas, T. M. H. Diep, P. Grandcolas, K. Kokou, S. Muller, A. S. Rana, H. L. T. Ranarijaona, B. Sonke

Biodiversité des écosystèmes intertropicaux

Connaissance, gestion durable et valorisation

IRD Éditions

Biodiversité des écosystèmes intertropicaux

Connaissance, gestion durable et valorisation

Biodiversité des écosystèmes intertropicaux

Connaissance, gestion durable et valorisation

Éditeurs scientifiques
Jean-Pierre Profizi, Stéphanie Ardila-Chauvet, Claire Billot,
Pierre Couteron, Maïté Delmas, Thi My Hanh Diep,
Philippe Grandcolas, Kouami Kokou, Serge Muller,
Anshuman Singh Rana, Hery Lisy Tiana Ranarijaona, Bonaventure Sonke

Cet ouvrage est une contribution du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D). Il a bénéficié du soutien de Agropolis Fondation.

IRD Éditions
Institut de recherche pour le développement

Collection Synthèses

Marseille, 2021

Photo 1re de couverture
© IRD/R. Oslisly – Forêt galerie dans le parc national de la Lopé, Gabon.

Photo 4e de couverture
© IRD/G. Villegier – Fruits de *Coffea liberica*, espèce endémique d'Afrique de l'Ouest, introduite à La Réunion.

Citation requise :
PROFIZI J.-P. *et al.* (éd.), 2021 : *Biodiversité des écosystèmes intertropicaux. Connaissance, gestion durable et valorisation.* Marseille, IRD Éditions, coll. Synthèse, 784 p.

Coordination fabrication
IRD/Catherine Guedj

Préparation éditoriale
Agropolis Production/Isabelle Amsallem

Mise en page
Desk (53)

Maquette de couverture
IRD/Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure
IRD/Pierre Lopez

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2021

ISBN papier : 978-2-7099-2938-7
ISSN : 2431-7128
ISBN PDF : 978-2-7099-2939-4
ISBN epub : 978-2-7099-2940-0

Le programme SEP2D

Cet ouvrage est une contribution du programme Sud Expert Plantes Développement Durable (SEP2D) qui, pour faire face à l'urgence écologique et contribuer à l'atteinte des objectifs mondiaux d'une gestion de la diversité durable et équitable, a rassemblé un réseau de plus de 3000 acteurs des pays francophones du Sud. La démarche de collaboration encouragée par ce programme a montré la pertinence des partenariats entre recherche, enseignement et société, ainsi que la nécessité d'un financement pérenne pour la restauration des écosystèmes et la mise en œuvre du cadre mondial pour la biodiversité.

Sommaire

Préface 15

Remerciements 17

Introduction générale 19
P. Grandcolas, M. Delmas, S. Muller

Partie I
Documenter la biodiversité 23

Introduction 25
B. Akendengué, T. Haevermans

Connaissances et utilisations populaires 29

Chapitre 1
Ethnobotanique de *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch
Département des Collines au Bénin 31
Y. F. Assongba, R. Adomahou, A. Houndonougbo, J. Yoka, J. G. M. Djego, B. A. Sinsin

Chapitre 2
Plantes forestières commercialisées dans les marchés urbains de la Guinée forestière 45
O. O. Haba, M. Diabaté, P. L. Simmy, P. Monèmou, A. Sangaré, Z. Soropogui, H. de Foresta

Chapitre 3
Diversité floristique et usages des plantes forestières en zones rurales de Guinée forestière 57
M. Diabaté, M. Diabaté, F. Koné, O. O. Haba, H. de Foresta, J.-P. Labouisse

Chapitre 4
Les plantes toxiques de trois provinces du Gabon 73
B. Akendengué, E. M. C. B. B. Essobo

Chapitre 5
Origine et transmission de la culture du palmier rônier dans l'ouest du Burkina Faso 91
A. Bene, A. Fournier

Chapitre 6
Perception paysanne des espèces ligneuses alimentaires dans la réduction de la malnutrition au Mali 103
A. M. Kouyate, I. Diarra, S. D. Traoré, A. Ouedraogo

Rôles des collections botaniques 111

Chapitre 7
Collections de bambous du Viet Nam
Conservation, informatisation et valorisation pour le développement durable 113
T. M. Hanh Diep, M. Pignal, J. Gurgand, S. Dransfield, N. K. Dieu, N. t. B. Loan, L. N. Sam, R. Vignes-Lebbe

Chapitre 8
Le jardin botanique Roland Portères en Guinée
Réhabilitation, valorisation et diversité floristique 125
M. Diabaté, M. Diabaté, H. de Foresta, J.-P. Labouisse

Chapitre 9
Connaissance et conservation des plantes sauvages au Burkina Faso
Contribution de l'herbier du Centre national de semences forestières 137
L. Sanou, L. Traoré, S. Sina, B. Belem, M. Ouédraogo, M. Sacandé, T. Ouali

Chapitre 10
Le Centre national de floristique de Côte d'Ivoire
Valorisation de la biodiversité végétale et développement socio-économique des populations. 153
K. S. B. N'Goran, O. Mevanly, G. C. Yian, Z. R. G. Gnanazan, K. Yao, B. B. F. Tra, F. A. Kouassi, E. A. Ake-Assi, D. Ouattara, M.-S. Tiébré

Chapitre 11
Identification des zones importantes de conservation de la biodiversité au Burundi
Utilisation des spécimens d'herbier 177
J. Ndayishimiye, E. Ngendakumana, M. Hitimana, J. M. V. Manirakiza, T. Masharabu, B. Kaplin

Partie II
Valoriser la biodiversité 187

Introduction 189
C. Billot, V. Rossow

Plantes alimentaires et médicinales 193

Chapitre 12
Compétitivité des chaînes de valeurs des jus de *Borassus æthiopum* et *Saba senegalensis* au sud du Mali 195
S. D. Traoré, A. M. Kouyate, U. Dembélé, A. Tougiani, I. Samaké

Chapitre 13
Gestion des maladies hépatiques et plantes utilisées par les tradipraticiens au Burkina Faso 211
A. Tibiri, S. Boria, T. K. Traoré, N. Ouédraogo, A. Nikièma, S. Ganaba, J.-M. Compaoré, I. Ouédraogo, I. P. Guissou, M. Carraz

Chapitre 14
***Tsiperifery* ou poivre sauvage de Madagascar (*Piper* spp.)**
Cycle phénologique reproducteur et gestion durable 225
H. Razafimandimby, L. Ramamonjisoa, J.-M. Bouvet

Chapitre 15
Analyse architecturale des *Baracoffea*, caféiers sauvages endémiques de la côte ouest de Madagascar
Cas de *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* Davis & Rakotonasolo (Rubiaceae) 237
M. É. Vavitsara, R. Bezandry, S. A. Sabatier

Champignons forestiers 249

Chapitre 16
Champignons sauvages comestibles et savoirs traditionnels du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire 251
M. S. Pitta Badjo, G. C. Yian, M.-S. Tiébré

Chapitre 17
Usage et écologie des champignons du parc national de Kahuzi-Biega
Nindja, République démocratique du Congo 273
G. Amani Katimbura, A. Cubaka, B. Birindwa, E. Irenge, L. Cirimwami

Chapitre 18
Activités antifongiques et antibactériennes des extraits bruts du basidiocarpe et du sclérote du champignon macroscopique *Pleurotus tuber-regium* 289
D. C. Mossebo, B.-P. Metsebing, R. Oba, T. Y. Fonkui, J. K. Lumande, M.-C. Machouart, D. T. Ndinteh

Autres usages 301

Chapitre 19
Diversité des espèces d'arbres utilisées dans les métiers du bois
Cas de la fabrication des mortiers et pilons au Centre-Bénin 303
R. M. Somanin, E.-E. B. K. Ewedje, I. A. Batcho

Chapitre 20
Plantes mellifères du parc national d'Ankarafantsika (Madagascar) et importance socio-économique du miel 315
I. Randrianjafy, T. J. Tsiavahananahary, H. L. T. Ranarijaona

Chapitre 21
Plantes mellifères de la réserve de biosphère de Luki
République démocratique du Congo 327
T. K. Lubalega, E. Mangombe, E. Muanda, J. Vunzi

Chapitre 22
Gestion et valorisation durable des zones raphières à Madagascar
Étude de quatre sites de la région de Boeny 345
Z. Andriamanantena, A. H. Andriamanantena, F. H. Andriamanantena, H. L. T. Ranarijaona

Chapitre 23
Évaluation des huiles extraites de différentes espèces de *Millettia* (Fabaceae) de Madagascar 359
H. Randriambanona, N. A. Mihajamanana, F. N. J. Rakoto, M. D. Andrianandrasana, R. Ratsito, R. H. Baohanta, F. Randriatafika, J. B. Ramanamanjato, H. Ramanankierana

Chapitre 24
Séchage des graines de *Millettia pinnata* L., Madagascar
Influence sur le rendement et la qualité de son huile 369
N. A. Mihajamanana, F. N. J. Rakoto, M. D. Andrianandrasana, R. H. Baohanta, R. Ratsito, F. Randriatafika, R. A. Rajoharison, T. E. Razakatiana, H. Ramanankierana, H. Randriambanona

Partie III
Gérer durablement les écosystèmes 381

Introduction 383
P. Couteron, K. Kokou

Caractérisation et dynamique des écosystèmes 389

Chapitre 25
Inventaire floristique de l'île de Ngazidja, archipel des Comores 391
M. Andilyat, A. Ramadhoini, B. Riera, E. Roger, M. Faramalala

Chapitre 26

Rôle des facteurs écologiques dans la répartition des bryophytes dans la forêt de Vohimana, Madagascar 405

A. H. Andriamanantena, F. H. Andriamanantena, Z. Andriamanantena, H. L. T. Ranarijaona

Chapitre 27

Dynamique spatio-temporelle d'une méga-mangrove *malagasy*
Marais maritime de Bombetoka 417

F. H. Andriamanantena, H. L. T. Ranarijaona, T. Andriaharimalala, A. H. Andriamanantena, Z. Andriamanantena, E. Delaitre, J. Iltis

Chapitre 28

Dynamique écologique des mangroves urbaines et péri-urbaines de l'ouest de Madagascar
Cas d'Antsohihy et de Morondava 429

S. B. Ranaivojaona, T. J. Tsiavahananahary, B. A. Ramiandrisoa, H. L. T. Ranarijaona

Chapitre 29

Lianes indigènes du parc national de Kahuzi-Biega, République démocratique du Congo
Germination des graines et croissance des plantules 441

C. Masumbuko Ndabaga, J. Lejoly, E. Biringanine Mugoli, F. Habiyaremye Muhashy

Chapitre 30

Les caféiers Robusta endémiques de Guinée
Une ressource rare et menacée 451

J.-P. Labouisse, M. Diabaté, F. Koné, R. Rivallan, M. Diabaté, H. de Foresta, O. O. Haba, T. Leroy

Gestion durable des ressources végétales 471

Chapitre 31

Structure des peuplements, caractéristiques du bois et variations morphologiques de *Pterocarpus erinaceus* Poir. en Afrique de l'Ouest 473

K. N. Segla, K. Adjonou, B. N. Johnson, D. Guibal, H. Rabiou, B. A. Bationo, G. Chaix, K. Kokou, P. Langbour, A. D. Kokutse

Chapitre 32

Multiplication végétative et domestication du karité au Bénin 493

Y. J. F. Avaligbe, P. C. Gnangle, A. Saidou

Chapitre 33

Valorisation de la biodiversité et implication citoyenne en milieu urbain
Cas du marécage de Fifadji à Cotonou, Bénin 507

A. Houngnon

Chapitre 34
Intégration des espèces locales d'intérêt patrimonial dans l'aménagement du paysage urbain au Bénin 521
A. Houngnon, A. A. Osseni

Chapitre 35
Agrobiodiversité et transition agroécologique
Regards croisés de chercheurs et paysans. 539
A. Cissé, C. Berthouly-Salazar, S. N. Sall, D. Renard, C. Clermont-Dauphin, A. Ndiaye, A. Barnaud, N. A. Kane

Restaurations post-exploitations 551

Chapitre 36
Dynamique spatio-temporelle de la forêt classée de l'Alibori-Supérieur et impact sur la biodiversité végétale 553
S. Biaou, G. N. Gouwakinnou, G. L. Houessou, C. F. Ahononga, S. E. Idjigberou, O. F. Houeto

Chapitre 37
Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol du parc national d'Azagny, Côte d'Ivoire
Apport de la télédétection et des systèmes d'information géographique. 565
S. D. K. Houphlet, A. E. G. Adiko, D. Kouame, J. K. Koffi, A. B. Konan-Waidhet, F. Munoz, C. Y. Adou Yao

Chapitre 38
Dynamique de la reprise de la végétation dans des parcelles permanentes cultivées
Forêt classée du Haut-Sassandra, Côte d'Ivoire. 579
K. J. M. Kouman, K. B. Kpangui, Y. S. S. Barima

Chapitre 39
Influence des espèces pionnières facilitatrices sur la recolonisation forestière 591
E. Ramiarana, H. Randriambanona, D. Hervé, H. Ramanankierana

Chapitre 40
Contribution à la restauration écologique du site minier de Mandena Fort Dauphin, Madagascar 601
S. M. Ranaivosoa-Toandro, L. M. Voahanginirina, T. E. Razakatiana, F. F. Manantsoa, I. Ratsizafy, M. D. Andrianandrasana, H. R. Ravonjimalala, H. Randriambanona, R. Rakotoariseheno, R. H. Baohanta, H. Ramanankierana

Chapitre 41

Dynamique temporelle des champignons endomycorhiziens associés à *Mimosa latipinosa* Lam. (Fabaceae)
Cas du site minier de Mandena, Madagascar 613
I. Ratsizafy, R. H. Baohanta, M. D. Andrianandrasana, F. Randriatafika, R. A. Rajoharison, T. E. Razakatiana, H. Randriambanona, R. Duponnois, H. Ramanankierana

Chapitre 42

Fonctionnement microbien des sols rhizosphériques d'espèces végétales natives d'un écosystème minier de Madagascar 625
R. H. Baohanta, I. Ratsizafy, H. Maevatiana, F. N. J. Rakoto, M. D. Andrianandrasana, F. Randriatafika, J. B. Ramanamanjato, T. E. Razakatiana, H. R. Ravonjimalala, H. Randriambanona, R. Duponnois, H. Ramanankierana

Chapitre 43

Traitement de scarification pré-germinatif des graines pour une restauration écologique des zones dégradées
Cas de *Millettia taolanaroensis* Du Puy & Labat (Fabaceae) de Madagascar 637
F. N. J. Rakoto, V. A. T. Randrianirina, H. Randriambanona, M. D. Andrianandrasana, R. H. Baohanta, F. Randriatafika, J. B. Ramanamanjato, T. E. Razakatiana, V. Rakotoarimanana, H. Ramanankierana

Partie IV
Exercer la gouvernance environnementale. 649

Introduction. 651
O. Rukundo, T. Leroy

Outils stratégiques pour une gestion durable 655

Chapitre 44

Valorisation de plantes aromatiques et cosmétiques suivant le principe d'accès et de partage des avantages
Bioprospection de la région de l'Ouest au Cameroun 657
T. Fonkou, M. K. Djeuga Youga, H. Mbuntcha, P. Sonkoue Njimeli, C. P. Kenfack, L. A. Kenmene, L. T. Azefack, V. F. Nguetsop, H. M. Womeni, M. L. Avana, C. Dubourg, C. Schippa, M. Najate, P. Teres, C. Billot, C. Dubois, G. Coppens D'eeckenbrugge

Chapitre 45

Palmiers (Arecaceae) de Madagascar
Élaboration d'une stratégie de conservation et d'utilisation durable 671
M. Rakotoarinivo, J. Dransfield, H. Beentje, V. M. Rafidison, R. D. Turk, T. Couvreur, S. H. Rapanarivo, S. Andriambololonera, W. J. Baker

Chapitre 46

Le management des connaissances liées aux usages des plantes
Une initiative combinant savoirs traditionnels et publications scientifiques pour l'approche *One Health* 683
P. Silvie, P. Martin, P. Keip, M. Huchard, P. Marnotte, Z. Ilboudo, A. Tagne, S. Sarter

Chapitre 47

La comptabilité écosystémique du capital naturel au service des décideurs de la gestion environnementale. 701
S. Rakotondraompiana, T. A. Ramihangihajason, L. Rambeloarisoa, E. Roger, S. Rakotoniaina, M. A. Razafindrabe, M. Faramalala

Chapitre 48

Genèse et bilan du programme Sud Expert Plantes (2006-2012) 715
E. Chenin, J.-P. Le Duc, M. Delmas, K. Kokou, C. Ramiarison, N. Raondry Rakotoarisoa, B. Sonke

Chapitre 49

Organisation et bilan du programme Sud Expert Plantes Développement durable (2015-2021). 729
S. Ardila-Chauvet, S. Muller, M. Delmas, P. Grandcolas, J.-P. Profizi, A. S. Rana, J.-P. Le Duc

Chapitre 50

Vers un 3e programme après SEP et SEP2D. 741
E. Chenin, S. Ardila-Chauvet

Conclusion générale 745
P. Grandcolas, M. Delmas, S. Muller, S. Ardila-Chauvet, C. Billot, P. Couteron, T. M. Hanh Diep, K. Kokou, J.-P. Profizi, A. S. Rana, H. L. T. Ranarijaona, B. Sonke

Annexes. 749
Liste des auteurs. 749
Liste des évaluateurs 765
Projets soutenus par le programme SEP (2006-2012) 769
Projets soutenus par le programme SEP2D (2015-2021) 775
Liste des masters 781

Préface

Le monde fait actuellement face à des crises systémiques multiples dont les interdépendances invitent à repenser en profondeur nos modèles de développement, au Nord comme au Sud. Pour relever les immenses défis que constituent l'effondrement de la biodiversité, les changements climatiques et les pandémies, la connaissance de l'incroyable diversité du vivant, que les activités économiques impactent mais dont elles sont pourtant intrinsèquement dépendantes, constitue un préalable indispensable à sa protection et à son utilisation durable.

Dans nombre de pays du Sud, la recherche scientifique sur la biodiversité végétale est encore trop peu reconnue et valorisée par les acteurs, tant publics que privés, pour jouer pleinement son rôle et stimuler l'action à toutes les échelles. Afin de contribuer à ce nécessaire changement de paradigme, l'Agence française de développement (AFD) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM) ont financé le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable (SEP2D) » entre 2016 et 2021 à hauteur de trois millions d'euros.

Ce programme, mis en œuvre par l'IRD en partenariat étroit avec le MNHN et le Cirad, a permis de soutenir des communautés scientifiques dans 20 pays francophones d'Afrique, de l'océan Indien et d'Asie du Sud-Est. Il a permis de renforcer le rôle de la science et de la recherche dans la formulation des politiques publiques et la prise de décision des acteurs privés, notamment dans le cadre de l'application du protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable de leurs avantages. De par son caractère innovant, à l'interface entre science et société, sa capacité à impulser des partenariats multi-acteurs en faveur de la préservation de la biodiversité et son intégration dans les activités économiques, ce programme a pleinement contribué aux stratégies de l'AFD et du FFEM de soutien aux transitions écologiques, productives et territoriales ainsi qu'aux institutions qui les portent dans les pays du Sud. Le programme SEP2D a également impulsé une avancée significative de l'un des plus grands réseaux francophones de recherche sur la biodiversité à l'échelle mondiale, dont le principal défi désormais est sa pérennisation dans le temps.

En ce sens, cet ouvrage, qui valorise nombre de résultats directement issus de projets soutenus et permet un regard croisé sur l'importance de la biodiversité végétale à l'heure de la négociation du cadre mondial post-2020 pour la

biodiversité, participe de cet effort de partage de la connaissance acquise au bénéfice du plus grand nombre, et de la nécessité d'une science de l'action, d'une science de la soutenabilité au service des objectifs de développement durable.

Aurélien Guingand

Responsable d'équipe-projet
Biodiversité, AFD

Janique Étienne

Chargée de mission Écosystèmes
marins et côtiers, FFEM

Remerciements

De 2015 à 2021, le programme Sud Expert Plantes Développement Durable (SEP2D) a bénéficié de la confiance et de l'appui de nombreux partenaires, financiers, techniques ou opérationnels, au Nord comme au Sud. Après le report (pour cause de pandémie) du symposium SEP2D prévu à Cotonou en mars 2020, il a été décidé d'éditer un ouvrage à partir des communications acceptées. Une véritable dynamique a ainsi vu le jour entre auteurs, évaluateurs et éditeurs sans laquelle la mise en commun des travaux présentés dans cet ouvrage n'aurait pu être possible. Nous tenons ici à leur exprimer tous nos remerciements pour leur collaboration et leur dynamisme sans faille.

Les éditeurs scientifiques souhaitent également remercier tous ceux qui ont permis la construction et la parution de cet ouvrage, par leurs financements (bailleurs du programme SEP2D, IRD Éditions et Fondation Agropolis), ou leur constante mobilisation pour éditer chaque contribution. Une pensée toute particulière à cet égard à Isabelle Amsallem et Catherine Guedj pour leur travail très méticuleux de relecture et d'édition. Nos remerciements également à l'ensemble des institutions impliquées dans le programme SEP2D pour leur accompagnement et leur engagement.

Outre les auteurs de cet ouvrage, nous tenons également à remercier tous les collègues et étudiants impliqués dans les recherches présentées ici, qui ont partagé de précieuses informations et apporté une contribution clé pour construire une science partagée.

Nous espérons que cet ouvrage, qui couvre un large éventail thématique comme géographique, motivera de nouveaux projets et de jeunes scientifiques à poursuivre les recherches pour améliorer notre compréhension de la biodiversité et de la dynamique des écosystèmes intertropicaux.

Introduction générale

Philippe GRANDCOLAS
CNRS, France

Maïté DELMAS
MNHN, France

Serge MULLER
MNHN, France

Les plantes occupent une place fondamentale dans notre monde et en particulier dans les écosystèmes terrestres. Elles assurent la production primaire, construisent des couverts végétaux, élaborent et structurent les sols. Elles participent aussi fortement à la régulation du climat et au cycle de l'eau. En matière de contributions à la nature, leur rôle est donc primordial. Nous n'imaginons pas un paysage sans les plantes, au point d'appeler désert ou minéral un environnement dans lequel le couvert végétal est réduit ou presque absent.

Derrière l'appellation générale de plantes se cache une diversité évolutive colossale, dont l'origine remonte à des centaines de millions d'années. Ce terme désigne des groupes d'organismes aussi divers que les algues vertes, rouges, bryophytes, ptéridophytes, gymnospermes et angiospermes. La capacité des plantes à produire de la matière organique trouve son origine dans une ancienne symbiose permettant la photosynthèse, un processus fondamental du fonctionnement de la biosphère. Comme pour tous les êtres vivants, l'autonomie des plantes est toute relative, puisqu'elles sont le plus souvent associées à des champignons (mycètes *sensu stricto*) pour leur nutrition et dans leur rapport au sol.

Il n'est donc pas étonnant que l'espèce humaine en tire des bénéfices directs, outre toutes les contributions indirectes (couvert terrestre, sol et climat) que nous venons de citer. Les plantes nous apportent avant tout une nourriture, aujourd'hui surtout à travers les espèces que nous avons domestiquées et que nous cultivons (céréales, légumes, fruits, huiles et graisses végétales, ainsi que condiments). Il en est de même avec des boissons et breuvages, dont beaucoup

(café, thé, cacao, vin, bière, etc.) sont élaborés à partir de substances extraites de végétaux. Les animaux d'élevage ou sauvages herbivores, qui entrent dans notre alimentation, sont eux aussi dépendants de leur nourriture végétale. Les plantes nous fournissent également toutes sortes de produits dont nous dépendons directement, qu'il s'agisse des fibres ou des couleurs pour nos étoffes, des matériaux comme le bois pour nos outils et habitations ou du latex pour le caoutchouc, et, bien sûr, des nombreuses substances actives qu'elles recèlent, utilisées notamment en médecine. En effet, la plupart des médicaments sont initialement élaborés à partir de plantes.

Il est utile aussi de rappeler une évidence que nous avons tendance à oublier : le bois des plantes (ainsi que les huiles dans une moindre mesure) a été, et est encore, une des grandes sources d'énergie et de chauffage (en particulier pour la cuisson des aliments), dont l'humanité s'est servie avant l'utilisation massive des carburants fossiles (eux aussi d'origine principalement végétale !) et le début de l'ère industrielle. Nous redécouvrons la roue puisque, aujourd'hui, les biocarburants sont à nouveau issus des plantes, et les arbres sont appelés à la rescousse dans nos centres urbains, notamment en tant que régulateurs de microclimats.

La diversité biologique des plantes est gigantesque : environ quatre cent mille espèces de plantes terrestres sont ainsi déjà connues pour la science, et chaque année apporte son tribut de nombreuses espèces nouvelles découvertes par les chercheurs. Mais cette diversité de plantes n'est pas également répartie à la surface du globe. Comme pour l'ensemble de la biodiversité, elle est beaucoup plus grande dans les régions tropicales, qui subissent une importante pression anthropique sur les milieux naturels. Ces régions sont, en outre, celles où les populations humaines sont en grand besoin de connaissances et de formation sur l'état, le devenir, l'usage et les possibilités de valorisation de cette biodiversité.

Toutes les initiatives d'évaluation (listes rouges de l'Union internationale pour la conservation de la nature, UICN ; évaluations de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, IPBES ; ou celles de la Convention sur la diversité biologique, CDB) en témoignent. La biodiversité, y compris celle des plantes, va mal, confrontée aux deux crises du dérèglement climatique et de l'extinction des espèces. L'IPBES, réunie sous l'égide des Nations unies, a clairement diagnostiqué cinq grandes causes au déclin de la biodiversité : la conversion des milieux conduisant à la destruction des habitats naturels (déforestation, assèchement des zones humides, etc.), les extractions d'organismes (foresterie, chasse, etc.), les pollutions chimiques et organiques, le changement climatique, les espèces exotiques envahissantes introduites volontairement ou involontairement. La crise de la biodiversité est donc complexe, avec une causalité certes multiple mais toujours anthropique. S'il n'y a pas extinction immédiate des milliers d'espèces citées dans les listes rouges, l'état déclinant et ravagé de leurs populations est tel que la situation ne sera pas différente ou

meilleure dans quelques décennies. Bien évidemment, le grand déclin ou la disparition de cette biodiversité n'est pas seulement un problème éthique lié à la perte de leur valeur intrinsèque, mais aussi une perte certaine de services écosystémiques. Combien d'espèces parfois encore inconnues auront-elles ainsi disparu avant même que nous n'apprenions les avantages précieux que nous aurions pu en retirer ?

Cette grande richesse et ces problèmes de conservation, de gestion durable et de capacité d'usage des plantes, dans un contexte de crise globale, constituent un enjeu majeur que nos sociétés doivent prendre en considération. Toute avancée en la matière ne pourra se faire qu'en se basant sur un partage équitable entre l'ensemble des parties concernées des avantages découlant de la connaissance et de l'utilisation de cette biodiversité, comme cela a été formalisé par le protocole de Nagoya, adopté dans le cadre de la CDB et entré en vigueur le 12 octobre 2014. Dans ce même cadre, d'autres mesures ont été adoptées qui montrent combien le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D), porté par des institutions françaises, se positionne opportunément dans un contexte politique international. En effet, les activités du programme SEP2D en matière de conservation, de gestion durable et de formation sur la biodiversité végétale s'intègrent parfaitement dans les objectifs de la stratégie mondiale pour la conservation des plantes (SMCP), élaborée en tant que question transversale à la CBD dès 2002. Dans ce même cadre international, les activités portées par le programme SEP2D viennent aussi contribuer aux objectifs d'Aichi ainsi qu'à un grand nombre d'objectifs de développement durable prouvant, si besoin en était, la pertinence de ce réseau pour tous les États qui en font partie.

Le programme SEP2D a stimulé et initié des partenariats scientifiques multiples concernant les savoirs sur les plantes, leurs usages, leurs transmissions et leur conservation aux niveaux nationaux, régionaux et internationaux. Les 37 projets de recherche et actions de formation mis en œuvre dans le cadre de SEP2D ont permis de forger ou de mettre à disposition des connaissances directement utiles aux sociétés et à la conservation et valorisation de la biodiversité dans vingt pays francophones d'Afrique, de l'océan Indien et d'Asie. Ce programme est aussi profondément intersectionnel, mettant en contact savoirs traditionnels et savoirs scientifiques, enseignants, chercheurs, techniciens, conservateurs, jardiniers, praticiens et société civile.

Ces objectifs internationaux auront été poursuivis en 2021, une année décisive s'il en est en la matière, avec la définition d'une nouvelle stratégie mondiale pour la conservation des plantes encore davantage intégrée dans le cadre du plan stratégique de la CDB. Le programme SEP2D s'est inscrit donc de manière particulièrement harmonieuse dans les projets de la Conférence des Parties à la CDB, et il est aujourd'hui une sorte de modèle pour la continuation et l'évolution de ces préconisations internationales.

Le présent ouvrage a pour objectif de rendre compte des efforts entrepris et des résultats obtenus dans le cadre de ce programme SEP2D. Il s'articule autour des thématiques suivantes, toutes complémentaires et mises en cohérence au

sein du programme : connaître la biodiversité, valoriser la biodiversité, gérer durablement les écosystèmes, exercer la gouvernance environnementale. Ce livre constitue un véritable témoignage de l'engagement et de la contribution du programme SEP2D, et des institutions françaises qui le portent, en faveur de la biodiversité. En soutenant la recherche, l'expertise, la production de données, en encourageant le partage juste et équitable des bénéfices issus de la biodiversité, le programme SEP2D participe aux efforts de mise en œuvre de l'agenda de la biodiversité, de la stratégie mondiale pour la conservation des plantes et des objectifs de développement durable.

Partie I

Documenter la biodiversité

Sous-bois forestier au Cap Estérias, Gabon.
© IRD/J.-P. Profizi

Introduction

Blandine AKENDENGUÉ
Université des Sciences de la santé, Gabon

Thomas HAEVERMANS
Muséum national d'histoire naturelle, France

Durant des millénaires, l'homme a utilisé les ressources de la nature pour ses besoins divers. L'essor industriel du XXe siècle a conduit à une exploitation à grande échelle, puis à une surexploitation, des richesses génétiques et, *in fine*, à l'érosion de la biodiversité constatée de nos jours. Les industries du bois et les exploitations minières et du pétrole en sont les principaux acteurs, mais également les modifications importantes dues à l'urbanisation et l'agriculture. Au cours des derniers siècles, les zones naturelles riches en biodiversité, dont les populations locales dépendent pour vivre, ont ainsi été exploitées par différents acteurs et à différentes échelles, sans réelles contreparties ni soucis de préserver les ressources.

Après des décennies de surexploitation incontrôlée, le constat est malheureusement amer : partout où persistaient encore des forêts naturelles à travers le monde, on observe une réduction considérable de la surface qu'elles occupaient, voire leur disparition pure et simple. On constate aussi une pollution de la nature par les déchets résultant du traitement des minéraux et l'intoxication des populations riveraines. En effet, les eaux de lavage sont déversées dans les cours d'eau naturels utilisés par les communautés pour leurs besoins divers : consommation, hygiène et irrigation des cultures.

L'inquiétante disparition d'espèces et d'écosystèmes, en raison des activités anthropiques, a amené le Programme des Nations unies pour l'environnement (Pnue) à réunir des experts dont le travail a abouti à la Convention sur la diversité biologique (CDB) signée par 168 pays entre juin 1992 et juin 1993. Celle-ci a été inspirée par l'engagement croissant de la communauté internationale pour le développement durable et par la reconnaissance de l'importance de la diversité

pour l'évolution et la préservation des écosystèmes. La CDB est constituée de plusieurs articles, tels que l'article 12 sur la « recherche et formation », et l'article 13 sur « l'éducation et sensibilisation du public ». La majorité des pays en développement ont alors négocié une procédure ensemble, le « *Rio package deal* », stipulant que leurs obligations de conservation devaient être conditionnées à des dispositions plutôt orientées sur l'usage. Les obligations de ce « *Rio package deal* » et les mesures portent sur trois types d'accès : (*i*) accès aux ressources génétiques sujettes à l'autorité nationale ; (*ii*) accès à la technologie, incluant la biotechnologie ; (*iii*) accès pour les États fournisseurs de ressources aux avantages obtenus de l'utilisation du matériel génétique.

Trente ans après la CDB qui lui a donné naissance, le protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation (APA) a été adopté en 2010. Son objectif est d'assurer une plus grande justice et équité entre fournisseurs et utilisateurs de ressources génétiques, de rendre visibles les apports et savoirs des communautés autochtones et locales et de « décoloniser » la recherche, tout en assurant la conservation de la biodiversité[1]. En effet, les ressources génétiques, qu'elles proviennent des plantes, des animaux ou de micro-organismes, sont utilisées à des fins diverses. Les utilisateurs des ressources génétiques et/ou des connaissances traditionnelles associées aux ressources génétiques sont variés et nombreux, notamment l'industrie pharmaceutique, cosmétique, agro-alimentaire, dans l'industrie du bois, ou celle du parfum ou encore dans les activités liées aux plantes médicinales, à la biotechnologie, aux semences, à l'horticulture ainsi qu'autour des collections *ex situ*. Par ailleurs, les universités et instituts de recherche font de la recherche fondamentale et/ou appliquée sur ces ressources et leurs résultats peuvent être ensuite utilisés par les industriels pour la commercialisation de produits.

Certains pays signataires de la CDB et du protocole ont démarré ou renforcé des initiatives importantes. C'est ainsi que le Gabon, dans une volonté forte de préservation de sa biodiversité, a créé, d'une part, treize parcs nationaux et, d'autre part, une agence nationale chargée de gérer ces zones protégées (conformément à la CDB). En outre, le Gabon a interdit l'exportation des espèces protégées (ou autre forme de commercialisation), qu'elles poussent dans des forêts bénéficiant de permis d'exploitation ou non. En outre, les grumes provenant de forêts bénéficiant de permis d'exploitation, accordés par le ministère des Eaux et Forêt, et gérées durablement doivent obligatoirement être transformées, ce qui a incité les opérateurs à créer des usines de première, deuxième et troisième transformation du bois au Gabon.

Dans ce contexte, le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) (2015-2021), qui visait à soutenir 22 pays francophones intertropicaux dans leurs initiatives en matière de biodiversité végétale, a eu comme objectif

1 Voir à ce sujet l'ouvrage AUBERTIN C. et NIVART A., éd., 2021. *La nature en partage. Autour du protocole de Nagoya*. Marseille, IRD Éditions/MNHN, coll. Objectifs Sud, 256 p.

général d'améliorer les politiques publiques et les interventions du secteur privé dans le domaine de la gestion de la biodiversité en intensifiant le recours à l'expertise scientifique. L'atteinte de cet objectif passait par la réalisation de trois objectifs spécifiques : (1) développer une culture de partenariat entre scientifiques, agents économiques et sphère politique pour réduire les impacts des activités extractives et favoriser la valorisation de la biodiversité ; (2) renforcer les compétences et les moyens des équipes scientifiques du Sud pour la gestion durable des espaces et des espèces ; (3) améliorer la cohérence des politiques nationales avec les initiatives/politiques régionales et les décisions internationales.

Les différentes parties de cet ouvrage développeront les résultats obtenus. La 1re partie « Documenter la biodiversité » s'entend dans un sens global et inclut savoirs et usages traditionnels et descriptions scientifiques formelles de la biodiversité végétale, au travers des collections botaniques. Du point de vue des savoirs traditionnels, les enquêtes ethnobotaniques conduites auprès des populations de divers pays, ont concerné plantes médicinales, alimentaires, aromatiques et d'intérêt commercial. Une plante est dite médicinale lorsqu'au moins une de ses parties possède des propriétés thérapeutiques. De nombreuses espèces sont utilisées à des seules fins médicinales, cependant certaines plantes alimentaires, aromatiques, ornementales, toxiques ou des espèces utiles (menuiserie, bâtiment), peuvent répondre à cette définition.

Dans certaines régions d'Afrique de l'Ouest, centrale et à Madagascar, ces enquêtes ethnobotaniques ont ainsi permis de dégager des potentialités de développement et de création d'emplois dans plusieurs localités grâce à la valorisation accrue des ressources concernées, par exemple pour la fabrication de biocarburants à Madagascar, un pays non-producteur de pétrole. Les potentiels des espèces mellifères de Madagascar et de la République démocratique du Congo sont d'autres exemples développés ici.

Les connaissances populaires sur les plantes sont riches et variées. Les dimensions médico-magiques attribuées à certaines espèces sont présentes tant en Afrique centrale qu'en Afrique de l'Ouest. Certains auteurs ont choisi de collecter les données sur une seule espèce. Cette partie de l'ouvrage nous fait ainsi découvrir la diversité génétique et l'histoire évolutive de *Borassus æthiopum* ou celle du palmier rônier au Bénin, ainsi que son origine et la transmission de sa culture dans l'ouest du Burkina Faso. Une autre espèce est également documentée ici, *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch, plante alimentaire et de bois d'énergie au Bénin mais dont les usages médicaux et médico-magiques sont les plus fréquents. Au Gabon, les usages des plantes toxiques ont été recensés dans trois provinces abritant une large diversité ethnique. Certaines de ces espèces toxiques sont utilisées pour leurs propriétés médico-magiques. En Guinée forestière, parmi les espèces végétales répertoriées dans 21 villages, choisis notamment pour leur diversité ethnique, les plantes médicinales et médico-magiques sont largement majoritaires, avant les espèces alimentaires, à usages artisanaux et bois de clôture. Une meilleure connaissance de ces

ressources et des produits dérivés s'avère nécessaire en vue d'une meilleure exploitation et de leur préservation dans l'intérêt des populations et du développement de cette région.

Par ailleurs, du point de la description scientifique de la biodiversité végétale, les collections botaniques jouent un rôle central en assurant la conservation et la documentation des indispensables spécimens naturalistes, à la base de tout travail scientifique sur la biodiversité. Au sein du programme SEP2D, les différents projets soutenus témoignent du dynamisme des institutions impliquées et de la grande diversité des activités proposées, en lien avec les problématiques sociétales de développement durable. La reproductibilité des résultats scientifiques et la documentation des ressources génétiques, dans le cadre du protocole de Nagoya, impose de pouvoir disposer de spécimens dûment référencés et accessibles. Tous les projets mettent donc en exergue l'importance de garantir la préservation des collections afin de permettre aux générations futures de bénéficier de cette connaissance et de pouvoir comparer les résultats des études scientifiques. Ces projets ont ainsi mis en œuvre des opérations visant à valoriser et faciliter l'accès aux richesses contenues dans ces herbiers par une informatisation et une restauration physique des spécimens. L'informatisation de ces collections est un aspect clé pour permettre la diffusion à différents publics des données des spécimens et leurs savoirs associés. Les utilisateurs peuvent ainsi accéder à des informations de qualité permettant d'aborder efficacement des questions de conservation (par exemple en identifiant les zones importantes pour la conservation de la biodiversité à l'échelle nationale ou régionale) ou d'utiliser ces données pour favoriser le développement socio-économique des populations par la valorisation des ressources locales.

Connaissances et utilisations populaires

Chapitre 1

Ethnobotanique de *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch

Département des Collines au Bénin

Yédjanlognon Faustin Assongba
Université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Bénin
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Ronaldo Adomahou
Université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Bénin

Aimé Houndonougbo
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Joseph Yoka
Université Marien Ngouabi, Congo

Julien G. M. Djego
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Brice A. Sinsin
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Introduction

Les ressources biologiques du Bénin sont nombreuses (Assongba, 2014). D'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la majorité des Béninois ont recours à la médecine traditionnelle pour résoudre leurs problèmes de santé (Assongba, 2014). L'utilisation des plantes à des fins médicinales est liée, d'une part, à la culture traditionnelle et, d'autre part, à la pauvreté et au coût élevé des médicaments conventionnels (Assongba, 2014 ; Ngbolua *et al*., 2016b). La connaissance des usages des plantes est acquise et transmise d'une génération à l'autre, ainsi que leurs propriétés pharmacologiques (Klotoé *et al*., 2013 ; Ngbolua *et al*., 2016a). Cependant cette transmission des connaissances des

plantes médicinales à la nouvelle génération est de nos jours menacée (Djego *et al*., 2011 ; Assongba, 2014). Cette perte d'informations est accentuée chez les jeunes urbains qui croient moins à la médecine traditionnelle. Si les connaissances traditionnelles se perdent faute de transmission (Ngbolua *et al*., 2011), cela ne favorise pas la conservation des ressources biologiques par les populations locales (Adomou *et al*., 2012 ; Akabassi *et al*., 2017). En cette période de pandémie cependant, les ruraux font de plus en plus appel aux médecines traditionnelles. Le Bénin disposant d'une flore riche et variée, la collecte et la valorisation des propriétés thérapeutiques des plantes est indispensable, ainsi que la connaissance des savoir-faire ethno-médicinaux des tradi-praticiens (Gouwakinnou *et al*., 2011 ; Konda *et al*., 2012).

L'espèce *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch (famille des Rubiaceae) fournit, à partir de ses feuilles et de ses racines principalement, une drogue très consommée au Bénin pour guérir des maladies. Abondant dans les savanes béninoises, sa récolte importante constitue néanmoins une sérieuse menace pour la survie de l'espèce en milieu naturel. Il est donc urgent de recenser les savoirs thérapeutiques traditionnels liées à cette espèce, à travers des enquêtes ethnobotaniques, et ainsi mieux connaître les remèdes traditionnels à base de *G. erubescens* afin, d'une part, d'en faire bénéficier l'ensemble de la population et, d'autre part, de mieux en gérer la récolte. La valorisation de telles connaissances traditionnelles peut aider au développement durable du pays et plus largement de l'Afrique (Ngbolua, 2013 ; Ilumbe *et al*., 2014). En effet, la recherche scientifique est indispensable pour étudier les savoir-faire traditionnels et pour analyser les conditions d'amélioration et d'optimisation des modes d'utilisation. Enfin, la science et l'industrie sont nécessaires pour la préparation des médicaments phytothérapeutiques et la mise à disposition à l'échelle d'un pays ou d'un continent. Ce développement doit, bien sûr, être réalisé dans le respect du principe de partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des plantes, tel que repris dans la Convention sur la diversité biologique (Ngbolua *et al*., 2016a).

La présente étude, réalisée dans les communes de Dassa, Glazoué et Savè du département des Collines au Bénin, a eu pour objectif de recenser les usages thérapeutiques de *G. erubescens* et de convertir ces savoirs ethno-médicaux en une connaissance scientifique.

Les résultats de ce travail sont donc susceptibles d'aider à valoriser l'espèce médicinale à haut potentiel phytopharmaceutique *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch, en vue de la domestiquer pour la conserver et, ainsi, prévenir son extinction en milieu naturel. Il s'agira également d'élaborer un guide de vulgarisation de ces phytomédicaments, afin d'en valoriser les usages médicaux à un niveau local, sous-régional, voire international.

Description du milieu d'étude

La zone d'étude se situe au centre du Bénin entre la latitude 7° Nord et 9° Nord. La figure 1 présente la localisation des trois communes et des villages prospectés.

Figure 1

Localisation des trois communes d'étude et des villages prospectés.

Source : fond topographique IGN, 1992. Réalisation : Paul Ogan, 2018.

Végétation

La zone d'étude appartient au climat subéquatorial. Les formations végétales rencontrées sont des formations saxicoles, des champs, des savanes claires et arborées, des galeries forestières, des forêts claires et des plantations de *Tectona grandis*. Les espèces végétales dominantes sont *Daniellia oliveri, Annona senegalensis, Gardenia erubescens, Isoberlinia doka, Parkia biglobosa, Pteleopsis suberosa, Pterocarpus erinaceus, Vittellaria paradoxa, Bridelia ferruginea, Milicia exelsa, Gmelina arborea, Detarium microcarpum* et *Imperata cylindrica*.

Démographie

Selon les résultats du recensement général de la population 4e phase (Insae, 2016), 647 262 habitants vivent dans cette zone. Les ethnies majoritaires sont les Mahi, Idaatcha et Nago, auxquelles s'ajoutent les Adja, Peul, Yoruba et Yom-Lokpa.

Méthodologie

Choix des villages d'enquête et caractéristiques de l'échantillon

Les localités enquêtées ont été choisies en fonction de leur dominance ethnique, afin d'assurer la bonne représentativité de tous les groupes sociolinguistigues de la zone d'étude et en fonction de la présence effective de *Gardenia erubescens* et de la connaissance d'au moins un de ses usages par les habitants. L'âge des enquêtés varie de 20 à 90 ans. Le sexe et la profession ont été également pris en compte. Un pré-test du questionnaire a été effectué. La formule de Dagneli (1998), citée par Assongba (2014), a été utilisée pour la cohorte d'enquête. La formule se présente comme suit :

$$N = \frac{U_{1-\alpha}^{2} \times P(1-P)}{\alpha^{2}}$$

où N est la taille de l'échantillon à considérer, P la proportion de personnes connaissant et utilisant l'espèce pour divers usages (alimentation, traitement de maladies), $U_{1-\alpha/2}^{2}$ la variable aléatoire de la probabilité normale à valeur de $1 - \alpha/2$.

Cette formule à l'avantage de choisir un échantillon représentatif de l'ensemble de la population humaine (Assongba, 2014).

Collecte des données

Les données ont été collectées grâce à des enquêtes ethnobotaniques par entretien individuel et par *focus group*. L'enquête questionnait l'usage thérapeutique de *G. erubescens* (maladies traitées par les différentes potions ou drogues provenant de l'espèce, ingrédients associés et modes de préparation).

Indices ethnobotaniques utilisés

La connaissance du degré d'utilisation de l'espèce s'est fait grâce à des indices ethnobotaniques, analysés et interprétés.

Valeur consensuelle d'utilisation (CMU)

Cet indice mesure le degré d'acceptabilité des enquêtés sur les formes d'utilisation de l'espèce. Il s'obtient par la division du nombre de fois qu'une forme d'usage (*Mx*) est citée par le nombre total de formes d'utilisation (*Mt*) (Assongba, 2014). Sa formule est :

$$CMU = \frac{M_x}{M_t}$$

Valeur consensuelle des différentes parties de la plante (VCPP)

Cet indice mesure le degré d'acceptabilité des enquêtés sur les parties de la plante utilisées dans les différentes potions ou drogues. Sa valeur s'obtient par la division du nombre de fois qu'une partie de la plante est citée (*Px*), par le nombre total de citations de toutes les parties (*Pt*) (Assongba, 2014). Sa formule est la suivante :

$$VCPP = \frac{P_x}{P_t}$$

Fréquence relative de citation des utilisations (FRCU)

La FRCU est calculée sur la base de la fréquence relative de citation des utilisations. Elle s'obtient par la division du nombre de personnes qui ont mentionné l'utilisation de l'espèce dans chaque catégorie d'utilisation (*Uc*) par le nombre total des enquêtés (*N*).

$$FRCU = \frac{Uc}{N}$$

La FRCU est comprise entre 0 et 1. Lorsque la FRCU est inférieure à 0,25, peu de personnes connaissent cette utilisation. Si elle est égale à 0,5, la connaissance de cette utilisation est moyenne ; lorsqu'elle est supérieure à 0,5, l'utilisation est connue par un grand nombre de personnes. La FRCU a été calculée par catégorie socioprofessionnelle.

Analyse en composantes principales

L'établissement du lien entre les organes de *G. erubescens* utilisés, les ethnies et les valeurs consensuelles des parties de la plante utilisées par ethnie a été réalisé par une analyse en composantes principales (ACP) avec le logiciel R.

Résultats

Les connaissances ethnobotaniques sur *Gardenia erubescens* des populations de la zone d'étude sont riches et liées à la diversité des groupes sociolinguistiques. Au total, quatre usages ont été recensés. Les usages médicinaux sont les plus répandus (50,86 %), suivis des usages magico-spirituels (32,76 %). Les usages alimentaires et de bois-énergie sont moins répandus (8,62 % et 7,76 % respectivement). Les connaissances sur les formes d'usages varient d'une ethnie à une autre (tabl. 1). La valeur consensuelle d'utilisation de chaque usage est plus élevée chez les Mahi et les Idaasha (tabl. 1). Ces résultats montrent que les ethnies ont une bonne connaissance des formes d'utilisation de *G. erubescens*.

Tableau 1
Les valeurs consensuelles d'utilisation (CMU) des enquêtés par ethnie.

Ethnies / Forme d'utilisation	Médicinale	Alimentaire	Magico-spirituelle	Bois-énergie
Adja	0,16	0,75	0,25	0,00
Fon	1,25	0,00	0,25	0,00
Mahi	5	3,5	3,25	1,25
Idaasha	3,25	2	4	1
Yoruba	0,00	0,5	0,00	0,00
Nago	0,00	0,00	0,75	0,00
Tchabè	0,00	0,5	0,00	0,00

Description des liens entre les organes utilisés et les groupes ethniques

L'établissement des liens entre organes utilisés et ethnies a été réalisé à travers une ACP. Les deux premiers axes expliquent à 96,6 % (tabl. 2) les usages de l'espèce par les groupes sociolinguistiques. L'analyse du tableau de corrélation des organes (tabl. 3), ainsi que celui de leur projection sur les axes obtenus avec les valeurs consensuelles des différentes parties de *G. erubescens* (CPP) par

ethnie (tabl. 3), montre que cinq organes (feuilles, fruits, écorces, tiges et racines) sont fortement corrélés ($P \geq 0,70$) et positivement avec l'axe 1 (fig. 2A). Ces résultats montrent que toutes les ethnies utilisent ces cinq organes. Sur l'axe 2 (fig. 2A), les écorces et racines sont corrélées positivement alors que les potions ou drogues (faites à partir des feuilles, écorces, racines) sont corrélées négativement avec l'axe 2 (fig. 2A). On en déduit que la projection des organes dans le plan euclidien formé par les axes 1 et 2 de la figure 2A confirme les résultats du tableau 3. La projection des groupes ethniques (fig. 2B) dans le plan d'axe formé par les deux composantes (fig. 2B) montre que les ethnies

Tableau 2
Valeurs d'usage (degré d'acceptabilité) issues de la description des ethnies suivant les organes utilisés.

Composantes	Proportion (%)	Cumulée (%)
1	68,91	68,91
2	27,69	96,60
3	3,40	100

Tableau 3
Contributions des organes de la plante aux axes de l'ACP.

Organes	Axe 1	Axe 2
Feuilles	0,85	- 0,51
Fruits	0,91	- 0,40
Tiges	0,93	- 0,20
Écorces	0,70	0,70
Racines	0,75	0,65

Tableau 4
Contribution des ethnies sur les usages des organes de l'espèce.

Ethnies	Axe 1	Axe 2
Adja	- 1,39	0,10
Fon	- 0,39	- 0,36
Mahi	2,30	- 2,39
Idaasha	3,40	1,89
Yoruba	- 1,36	0,09
Tchabè	- 1,46	0,16
Nago	- 1,10	0,51

Idaasha et Mahi, positionnées positivement sur le premier axe, s'opposent aux ethnies Tchabè, Yoruba, Nago et Adja qui le sont négativement. Les Idaasha et Nago sont positionnés positivement sur le second axe alors que les Mahi le sont négativement (fig. 2B), ce que confirme les valeurs des axes 1 et 2 du tableau 4. Il en ressort que les ethnies Idaasha et Mahi connaissent et utilisent beaucoup tous les organes de *G. erubescens*.

Figure 2

Projection des organes de Gardenia erubescens *(A) et des groupes ethniques (B) dans le plan d'axes formé par les deux composantes.*

Lien entre catégories d'usages et groupes ethniques

L'ACP montre que les deux premiers axes expliquent à 97,69 % (tabl. 5) les usages que les ethnies font de *G. erubescens*. L'analyse de la contribution des types d'usage aux axes de la projection montre que les trois usages (médicinal, alimentaire, magico-spirituel) sont fortement et positivement corrélés avec l'axe 1 (fig. 3, tabl. 6).

Tableau 5
Valeurs propres des groupes ethniques suivant les catégories d'usages.

Composantes	Proportion (%)	Cumulée (%)
1	92,10	92,10
2	5,59	97,69
3	2,31	100

Tableau 6
Contribution des types d'usage.

Types d'usage	Axe 1	Axe 2
Médicinal	0,97	- 0,05
Alimentaire	0,9567614	- 0,25
Magico-spirituel	0,9459778	0,31

Figure 3
Projection des types d'usage (médicinaux, alimentaires, magico-spirituels) sur les axes.

La projection des groupes sociolinguistiques dans le plan formé par les deux axes (fig. 4) montre que les groupes ethniques Mahi et Idaasha sont positivement situés sur l'axe 1, tandis que les Adja, Fon, Yoruba, Nago et Tchabè sont situés négativement sur l'axe 1. Les ethnies Fon, Idaasha et Nago sont situés positivement sur l'axe 2, par opposition aux ethnies Mahi, Yoruba, Tchabè et Adja qui le sont négativement. Ces résultats sont confirmés par ceux du tableau 7 sur la contribution des groupes ethniques. Ainsi, les ethnies Adja et Mahi sont celles qui utilisent le plus *G. erubescens*.

Figure 4
Groupes ethniques suivant les catégories d'usage en analyse de composante principale (ACP).

Tableau 7
Contribution des groupes ethniques.

Groupes ethniques	Axe 1	Axe 2
Adja	- 0,9201809	- 0,23
Fon	- 0,8904339	0,07
Mahi	3,0932660	- 0,55
Idaasha	2,0858493	0,73
Yoruba	- 1,1332602	- 0,22
Nago	- 1,1019802	0,41
Tchabè	- 1,1332602	- 0,22

Les organes utilisés

Les différents organes de *G. erubescens* utilisés sont au nombre de six ; les plus représentés sont les feuilles (32 %) et les fruits (26 %) (fig. 5). Les extraits les moins utilisés sont ceux des racines (12 %), de la tige (20 %) et de l'écorce (4 %).

Figure 5
Fréquence de citation des parties végétales utilisées de Gardenia erubescens.

Affections traitées

Traditionnellement, les douleurs musculaires, le paludisme et les douleurs au niveau des seins, sont traités par les extraits de *G. erubescens,* ainsi que la protection contre les accidents (fig. 6).

Figure 6
Fréquence de citation des affections traitées par Gardenia erubescens.

Mode de préparation phytothérapeutique

Trois modes de préparation des produits thérapeutiques ont été collectés : la décoction, qui est le mode le plus utilisé (fig. 7), ainsi que la trituration et la calcination.

Figure 7
Fréquence des types de préparation des phytomédicaments à base de Gardenia erubescens.

Discussion

Usages des extraits par ethnie et groupe socioprofessionnel

L'étude a révélé les différents usages de *Gardenia erubescens* dans la zone concernée. La plante est connue par tous les enquêtés, quel que soit le groupe sociolinguistique et socioprofessionnel. Quatre usages existent : alimentaire, magico-spirituel, bois-énergie et médicinal. Les résultats montrent que les potions

ou drogues issues de l'espèce sont utilisées différemment selon les groupes socioculturels. Ce résultat confirme ceux issus de l'étude ethnobotanique de Mamounata *et al*. (2017) qui a montré que les feuilles, les fruits, les graines et racines de *G. erubescens*, sont les plus recherchées. En outre, la connaissance et l'usage des potions ou drogues provenant de cette espèce varient selon l'ethnie, l'âge et le sexe. Ce résultat corrobore ceux de Gouwakinnou *et al*. (2011), de Assongba. (2014) et de Komlan et Koffi (2017). Le groupe sociolinguistique constitue le facteur majeur de différenciation des usages et de connaissance des plantes entre communautés (Adjéya *et al*., 2015 ; Laouali, 2016). Les usages médicinaux et magico-spirituels sont les plus répandus dans la zone enquêtée. L'étude met également en lumière que toutes les parties de la plante (fruits, écorces, tiges, feuilles et racines) sont utilisées par les populations. Les feuilles et les fruits sont plutôt utilisés dans la médecine traditionnelle pour le traitement de diverses maladies. Ces résultats corroborent les conclusions d'une étude du Programme des Nations unies pour le développement (Pnud, 2013), qui mentionne que le développement humain en Afrique sera soutenu par la valorisation thérapeutique des plantes indigènes, en d'autres termes par la valorisation locale de la médecine traditionnelle.

Mode de préparation des traitements traditionnels

Selon nos résultats, quatre affections sont traitées par *G. erubescens principalement* par décoction, seule ou en association avec d'autres espèces végétales. Ces résultats corroborent ceux de Adomou *et al*. (2012) qui mentionnent que les racines de nombreuses espèces végétales traitent l'hypertension par décoction.

Conclusion

Cette étude montre l'importance ethnobotanique de *Gardenia erubescens* utilisée par les populations des communes de Dassa, Glazoué et Savè au Bénin. Cette espèce est connue par toute la population des trois communes enquêtées. Les organes de *G. erubescens* servent localement aux populations à quatre usages. Les usages alimentaires et médicinaux par décoction sont connus de tous. Les feuilles, les racines, l'écorce et les fruits, sont les organes de l'espèce utilisés en médecine traditionnelle. Notre étude montre que la feuille de *G. erubescens* est utile dans le traitement du paludisme, principale maladie en Afrique (OMS, 2002 ; Salhi *et al*., 2010 ; Latifou *et al*., 2016). Il est donc important d'envisager la conservation de cette espèce dans les jardins botaniques d'une part et, d'autre part, d'effectuer des recherches approfondies notamment en pharmacognosie (étude des sources des drogues naturelles et de leurs principes actifs).

Références bibliographiques

Adomou A. C., Yedomonhan H., Djossa B., Legba S. I., Oumorou M. Akoegninou A., 2012
Étude ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 6 (2) : 745-772.

Akabassi G. C., Padonou E. A., Chadare F. J., Assogbadjo A. E., 2017
Importance ethnobotanique et valeur d'usage de *Picralima nitida* (Stapf) au Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 : 1979-1993.

Assongba Y. F., 2014
Ethnobotanique, écologie, répartition spatiale et statut de conservation de Dialium guineense *Willd (Fabaceae) au Bénin*. Thèse de doctorat unique, Aménagement et Gestion des ressources naturelles, université d'Abomey-Calavi, 245 p.

Djego J., Djego-djossou S., Cakpo Y., Agnani P., Sinsin B., 2011
Évaluation du potentiel ethnobotanique des populations rurales au sud et au centre du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 5 (4) : 1432-1447.

Gouwakinnou G. N., Lykke A. M., Assogbadjo A. E., Sinsin B., 2011
Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*. *J. Ethnobiol. Ethnomed*., 7 : 8.

Ilumbe B. G., Van Damme P., Lukoki F. L., Joiris V., Visser M., Lejoly J., 2014
Contribution à l'étude des plantes médicinales dans le traitement des hémorroïdes par les pygmées de Twa et leur voisin Oto de bikoro, RDC. *Congo Sciences*, 2 : 46-54.

Insae, 2016
Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin. RGPH-4, 2013, 85 p.

Kébenzikato A. B., Wala K., Atakpama W., Dimobé K., Dourma M., Woégan A. Y., Batawila K., Akpagana K., 2015
Connaissances ethnobotaniques du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Togo. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.,* 19 (3) : 247-261.

Klotoé J. R., Dougnon T. V., Koutouvo K., Atègbo J. M., Loko F., Akoègninou A., Aklikokou K., Dramane K., Gbeassor M., 2013
Ethnopharmacological survey on antihemorrhagic medicinal plants in south of Benin. *European Journal of Medicinal Plants*, 3 : 40-51.

Konda K. M., Kabakura M., Mbembe B., Itufa Y., Mahuku K., Mafuta M., Mpoyi K., Ndemankeni I., Kadima K., Kelela B., Ngiuvu V., Bongombola M., Dumu L., 2012
Plantes médicinales de traditions. Province de l'Équateur, R. D. du Congo. Institut de recherche en sciences de la santé, 419 p.

Laouali A., 2016
Importance ethnobotanique, dynamique des peuplements et écologie de Prosopis africana *(G. et Perr.) Taub. au Niger.* Thèse de doctorat de l'université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, option Biologie appliquée, spécialité Biologie et Écologie végétales, 154 p.

Lagnika L., Djehoue R., Yedomonhan H., Sanni A., 2016
Ethnobotanical survey of medicinal plants use in malaria management in South Benin. *Journal of medicinal plants research,* 10 (4) : 748-756.

Lagnika L., Djehoue R., Yedomonhan H., Sanni A., 2016
Ethnobotanical survey of medicinal plants use in malaria management in South Benin. *Journal of medicinal plants research*, 10 (4) : 748-756.

Mamounata O., Belem J., Ouedraogo S., Nabaloum M., 2017
Étude ethnobotanique de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam (Capparaceae) dans le département de Banh, province du Loroum, au Nord du Burkina Faso. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 34 (1) : 5390-5403.

Ngbolua K. N., Rakotoarimanana H., Rafatro H., Urverg R. S., Mudogo V., Mpiana P. T., Tshibangu D. S. T., 2011
Comparative antimalarial and cytotoxic activities of two Vernonia species: *V. amygdalina* from the Democratic Republic of Congo and *V. cinerea* subsp. *vialis* endemic to Madagascar. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 : 345-353.

Ngbolua K. N., Benamambote B. M., Mpiana P. T., Muanda D. M., Ekutsu E. G., Tshibangu D. S. T., Gbolo B. Z., Muanyishay C. L., Basosila N. B., Bongo G. N., Robijaona B., 2013
Ethno-botanical survey and ecological study of some medicinal plants species traditionally used in the District of Bas-Fleuve (Bas Congo Province, Democratic Republic of Congo). *Research Journal of Chemistry*, 1 : 01-10.

Ngbolua K. N., Shetonde O. M., Mpiana P. T., Inkoto L. C., Masengo C. A., Tshibangu D. S. T., Gbolo Z. B., Baholy R., Fatiany P. R., 2016a
Ethno-pharmacological survey and ecological studies of some plants used in traditional medicine in Kinshasa city (Democratic Republic of the Congo). *Tropical Plant Research*, 3 : 413-427.

Ngbolua K. N., Mandjo B. L., Munsebi J. M., Masengo C. A., Lengbiye E. M., Asamboa L. S., Konda R. K., Dianzuangani D. L., Ilumbe M., Nzudjom A. B., Kadimanche M., Mpiana P. T., 2016b
Études ethnobotanique et écologique des plantes utilisées en médecine traditionnelle dans le district de la Lukunga à Kinshasa (RD du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 26 : 612-633.

OMS (Organisation mondiale de la Santé), 2002
Rapport sur la santé dans le monde 2002.

Pnud (Programme des Nations unies pour le développement), 2013
Rapport sur le développement humain 2013. L'essor du Sud : le progrès humain dans un monde diversifié. New York.

Salhi S., Fadli M., Zidane L., Douira A., 2010
Études floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa*, 31 : 133-146.

Chapitre 2

Plantes forestières commercialisées dans les marchés urbains de la Guinée forestière

Ouo Ouo Haba
Université de N'Zérékoré, Guinée

Moussa Diabaté
Irag, Guinée

Pè Louoguea Simmy
Université de N'Zérékoré, Guinée

Pépé Monèmou
Université de N'Zérékoré, Guinée

Agnès Sangaré
Université de N'Zérékoré, Guinée

Zaou Soropogui
Université de N'Zérékoré, Guinée

Hubert de Foresta
IRD, France

Introduction

Les forêts sont une source de nourriture, de remèdes et de combustibles pour plus d'un milliard de personnes (FAO, 2018).

La Guinée forestière est la région naturelle la plus boisée du pays, avec des massifs de forêts ombrophiles humides (réserves de biosphère de Ziama et des Monts Nimba, les forêts classées de Diecké, Béro et Pic de Fon). Les forêts classées couvrent une superficie totale de 287 913 ha ; elles hébergent des diversités floristique et faunistique impressionnantes (Guilavogui *et al*., 1993).

La Guinée forestière est un massif montagneux, dont les principaux écosystèmes sont forestiers. Sa flore est riche et variée (Lisowski, 2009).

La contribution réelle des produits forestiers à la réduction de la pauvreté et à l'amélioration de la résilience des populations locales pauvres, est souvent mal comprise par les décideurs des principaux ministères en Guinée. Elle est la plupart du temps sous-estimée (FAO, 2010).

Dans le contexte guinéen, Diawara (2000) indique que la direction nationale de la comptabilité, qui relève du secrétariat d'État au plan, ne s'intéresse qu'aux produits forestiers issus de sciage (madriers, planches, chevrons) et au bois-énergie (charbon de bois et bois de chauffe) et dont les données sont peu fiables et obsolètes.

Les produits forestiers non ligneux (PFNL) sont définis en tant que « bien d'origine biologique autre que le bois, provenant des forêts et d'autres terrains boisés ou provenant d'arbres hors forêts » (FAO, 1999).

En Guinée forestière, comme dans la grande majorité des zones forestières d'Afrique, l'emprise agricole s'étend au détriment des espaces forestiers et menace les espèces végétales utiles à l'homme que les forêts abritent, ainsi que les savoirs associés. En Guinée forestière, les espèces arborées les moins connues par les agriculteurs sont généralement abattues pour faire place aux cultures, et les savoirs (qui ne sont pas nécessairement partagés par tous) disparaissent progressivement. À l'opposé, les espèces végétales les plus communes et les plus utilisées sont conservées (dans les cultures, jardins de case, parcs, haies vives, etc.), notamment au sud-est de la Guinée forestière (Correia *et al.,* 2010 ; Fraser *et al*., 2016).

Il apparaît donc important et urgent d'évaluer la contribution de ces espèces végétales utiles à la subsistance et à l'économie des populations urbaines de Guinée forestière qui n'ont pas un accès direct aux forêts. Dans le cadre du projet « Forêt de Guinée forestière-Plantes utiles » (Fogefo-Plus) du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable », une étude, pilotée par l'université de N'Zérékoré, a été entreprise de 2017 à 2019 afin de (1) recenser les espèces végétales forestières dont les produits sont commercialisés sur sept marchés urbains de Guinée forestière, ainsi que leurs usages et savoirs associés, (2) caractériser l'importance économique des produits issus des espèces végétales pour les populations urbaines, (3) collecter par achat des échantillons des produits de plantes utiles dans les marchés urbains.

Cet article détaille les méthodes utilisées ainsi que les principaux résultats de cette étude.

Matériels et méthodes

Description de la zone d'étude

Nos enquêtes ont été menées dans les sept villes ou communes de la région de Guinée forestière, dont N'Zérékoré est le chef-lieu (tabl. 1 et fig. 1).

La ville de N'Zérékoré couvre une superficie 112 km^2 et compte 396 949 habitants (recensement de 2015). Son climat est caractérisé par deux saisons, une saison sèche (décembre-février) et une longue saison pluvieuse (mars-novembre). L'humidité moyenne générale est de 77,17 %, ce qui favorise le développement des cultures et la bonne régénération de la végétation. Les températures moyennes

varient durant l'année entre 20 et 26 °C, avec des minimas de l'ordre de 11 °C en janvier. Les journées les plus chaudes se situent en février-mars avec une moyenne des maximas de 35 °C.

Tableau 1
Description des différents marchés enquêtés.

Informations	Villes/communes						
	Beyla	**Gueckedou**	**Kissidougou**	**Lola**	**Macenta**	**N'Zérékoré**	**Yomou**
Nombre d'habitants	32 368	67828	283 082	47995	278 456	396 949	15160
Jour du marché	Samedi	Mercredi	Mardi	Lundi	Mardi et jeudi	Mercredi	Jeudi
Latitude	08°41'	08°33'	09°11'	07°47'	07°47'	07°45'	07°44'
Longitude	08°38'	10°08'	10°06'	08°31'	08°31'	08°49'	08°49'
Altitude (m)	635	424	522	438	552	513	454
Administrateur général	1	1	1	1	1	1	1
Administrateur adjoint	1	1	1	1	0	1	0
Agent de recouvrement	5	5	4	6	7	7	4
Secteurs	56	5	90	5	0	9	0
Garde communal	6	20	8	2	0	3	3
Date de l'enquête	30/12/17	9/01/18	11/01/18	15/01/18	18/01/18	2018-2019	28/12/17

La végétation de la préfecture de N'Zérékoré est constituée en grande partie d'une mosaïque de reliques de forêt dense humide, de formations secondaires ligneuses, de savanes périforestières plus ou moins arborées, de jachères et de caféières sous ombrage forestier (Haba *et al*., 2017).

Méthodologie

Une fiche synthétique descriptive a été renseignée lors des enquêtes menées dans les sept marchés urbains. La collecte des données a été réalisée par cinq enseignants-chercheurs et des étudiants de licence des filières « gestion des ressources naturelles » et « éco-botanique ». L'inventaire des produits par étal a répertorié le nom local du produit, le nom de l'espèce, la partie utilisée, les usages, les types de vendeur (homme/femme, collecteur ou revendeur, grossiste/détaillant/tradipraticien), les commerçants, les acheteurs et les prix à l'unité ou au poids de ces produits. Mille-soixante-huit fiches ont été remplies et 100 échantillons de produits collectés, dont une partie a été envoyée à l'herbier « SerédouGuinée » (Serg) de Sérédou et l'autre a été conservée au laboratoire de biologie végétale à l'université de N'Zérékoré.

Ces activités se sont déroulées entre le 28 décembre 2017 et le 10 août 2019.

Figure 1

Carte de la Guinée forestière et localisation des sept villes de l'étude (enquêtes sur les marchés).

Réalisation : Cepca et M. Haba, mars 2020.
Source : Administration du territoire.

Les plantes ont été déterminées grâce aux travaux de Hawthorne et Jongkind (2006), Hawthorne et Gyakari (2006), Marshall et Hawthorne (2013), Lisowski (2009) et Arbonnier (2009).

Résultats

Recensement des produits forestiers dans les marchés

L'enquête sur l'ensemble des produits forestiers recensés dans les sept marchés urbains de la région de Guinée forestière a concerné 662 vendeurs(euses), dont 93,8 % sont des femmes et 6,2 % des hommes ; leur âge varie de quinze à quatre-vingts ans.

Les enquêtes ont permis de recenser 83 espèces végétales utiles vendues sur les marchés, appartenant à 78 genres et 36 familles botaniques. Ces plantes proviennent des réserves de biosphères de Ziama et des Monts Nimba, ainsi que dans les forêts classées de Diecké, Bero et Pic de Fon.

Les parties des plantes utilisées ou consommées sont les feuilles, l'écorce, les fruits, les graines, la plante entière, la sève, le rachis, la pulpe, les racines, les tiges, les lanières et l'huile.

Modes d'exploitation des espèces végétales

La récolte ou l'exploitation des produits forestiers se fait essentiellement par abattage de l'arbre. Par exemple, *Piper guineense* est une plante lianescente qui s'enroule autour d'un arbre hôte, et ce dernier devra être abattu pour en permettre la récolte. La sève de *Elaeis guineensis* est récoltée pour faire du vin par coupe du stipe (ou méthode « par le bas ») ou par celle du « vieux couché ». Cette expression « vieux couché » est un jargon employé par les consommateurs de vin de palme. Cette méthode d'extraction se réalise à grande échelle dans la préfecture de Gueckedou. D'autres espèces végétales – comme *Hallea stipulosa*, *Laccosperma secondiflora*, *Xylopia æthiopica* – subissent le même type d'exploitation. L'écorçage ou la saignée sont également pratiqués. La récolte du vin sur pied est pratiquée sur *Raphia palma-pinus* et *R. hoockeri*. Cette méthode est connue des hommes de la région. La pratique de l'abattage a pour corolaire la perte de la biodiversité végétale.

Au total, cinq groupes de produits ont été identifiés selon leurs usages et sont classés comme suit (fig. 2) : produits de santé ou plantes médicinales (75,90 %) ; produits alimentaires ou de consommation (10,84 %) ; produits artisanaux (8,43 %) ; produits d'emballage (3,61 %) et produits cosmétiques (1,20 %).

Figure 2
Les différents usages des produits forestiers collectés sur les marchés.

Les acteurs de la chaîne de valeur

La chaîne d'approvisionnement des marchés urbains passe par plusieurs acteurs, chacun jouant un rôle particulier et prélevant une marge selon sa position dans la chaîne. En amont, on trouve les producteurs ou collecteurs. Dans les écosystèmes forestiers, les habitants collectent (par ramassage ou cueillette) les produits forestiers et les ramènent au village, une partie étant destinée à l'autoconsommation et l'autre à la vente en direction des marchés urbains. L'accès à ces écosystèmes est souvent libre.

Viennent ensuite les commerçants (grossistes ou semi-grossistes), qui transportent par taxi-brousse, motocyclette ou véhicule particulier, les produits en vrac dans de gros sacs jusqu'aux marchés, et les détaillants qui achètent et revendent au poids, au volume, au tas ou à l'unité. Les unités de mesure ou les conditionnements couramment pratiqués sont la petite boîte de concentré de tomate, le sachet plastique en différents formats (petit, moyen et grand), les tas, le gobelet d'un litre pour certains fruits, le fagot de cannes ou de tiges pour les rotins ou les lanières.

Consommation

L'expression « consommation » renvoie à la proportion d'un produit forestier utile destiné à l'usage immédiat (autoconsommation, produit transformé ou non transformé).

Les enquêtes dans les marchés ont révélé que 30 % des femmes achètent dans les marchés les graines de *Piper guineense*, *Ricinodendron heudelotii* et de *Beilschmie diamannii* pour leur consommation.

Les groupes de produits forestiers utilisés par les communautés

Les produits alimentaires

Les produits alimentaires regroupent les fruits comestibles d'espèces « sauvages » (non cultivées). Les plus recherchés sont : *Piper guineense* (poivre de Guinée) *Garcinia kola* (petit kola), *Ricinodendron heudelotii, Parkia bigloboda* et *Beilschmie diamannii.* Les fruits de *Garcinia kola* et de *Parinari* sp. sont consommés crus. Par contre, certains fruits, comme ceux de *Piper guineense* et *Ricinodendron heudelotii,* sont consommés à l'état sec après transformation (pilage). Plus de 80 % des commerçants interrogés consomment ces fruits deux à trois fois par jour dans leurs ménages, et ces fruits représentent également pour eux une source de revenus. Les prix moyens au kilo sont de 5,5 USD pour *Piper guineense* et de 4,5 USD pour *Garcinia kola* au marché de N'Zérékoré.

Les produits artisanaux

Deux types de rotins sont exploités par les artisans interviewés : le « rotin à gros diamètre », *Laccosperma secondiflora,* et le « rotin à petit diamètre », *Calamus*

deerratus. Il s'agit de palmiers (Arecaceae) épineux lianescents, qui peuvent atteindre 50 m de long. Les fabricants d'objets en rotin réalisent de nombreux produits (lits, cannes, tabourets, fauteuils, chaises, vans, frondes, ceintures à grimper, fibres de raphia). Les artisans se procurent et commandent la matière première (fagots de cannes) auprès des collecteurs qui habitent à proximité de certains massifs forestiers de la région (cités plus haut). Les mobiliers en rotin sont très demandés par la population à cause de leurs prix très abordables.

Cette activité rapporte un revenu mensuel de 50 000 à 200 000 francs guinéens (GNF) (soit 5,10 à 20,04 USD).

Dans les préfectures de Lola, N'Zérékoré et Macenta, des nattes à base de tiges de *Thaumatococcus danielii* sont confectionnées par les femmes.

Les plantes médicinales

Les herboristes sont fortement impliqués dans les premiers soins à donner aux malades dans les centres urbains de la région. Une partie de la population a recours à leur service le plus souvent en raison des prix de vente peu élevés des produits végétaux par comparaison à ceux des médicaments industriels et de leur facilité d'accès. Pour l'Organisation mondiale de la santé (OMS), 80 % de la population mondiale a recours à la médecine traditionnelle pour les premiers soins.

Dans les sept marchés enquêtés, les produits végétaux fréquemment utilisés par la population sont *Aframomum melegueta, Alchornea cordifolia, Paulinia pinnata* et *Tetracera potatoria*. Ils sont suivis de *Ficus sur*, *Harungana madagascariensis*, *Tiliacora* sp., *Nauclea diderichii* et *Trema orientalis*. Les feuilles sont les organes les plus utilisés (62 à 65 % des espèces), puis les écorces (9,62 %), les racines (2,40 %), les fruits et les graines. La décoction et la macération sont les formes de transformation pharmaceutiques les plus employées. Les pathologies les plus souvent citées sont le paludisme, les maux de tête, l'hypertension artérielle, les plaies, la toux et la stérilité féminine. Certaines espèces sont à usages multiples comme par exemple *Garcina kola,* réputée pour son usage aphrodisiaque et alimentaire. Le tas (40 g) d'écorces et de feuilles (20 g) se vend 1 000 GNF (soit 0,10 USD).

Les feuilles d'emballage

Les feuilles de deux espèces végétales – *Halleastipulosa* et *Megaphrynium macrostachyum* – font l'objet d'un commerce important par les femmes, qui sont à la fois collectrices, grossistes et détaillantes, dans le marché de N'Zérékoré, et par une minorité d'hommes au marché de Macenta. Les grands utilisateurs de ces « emballages-feuilles » sont les commerçants de noix de *Cola nitida* et les femmes qui sont à la fois collectrices, grossistes et détaillantes. Ces feuilles sont en effet utilisées pour confectionner des paniers de cola destinés à l'exportation essentiellement vers le Mali. Pour ces femmes, chaque botte de feuilles coûte de 5 000 à 6 000 GNF (soit 0,51 à 0,62 USD), ce qui correspond à un revenu mensuel de 14 000 à 900 000 GNF (soit 1,44 à 92,39 USD) suivant la quantité vendue. Les feuilles de *Megaphrynium macrostachyum* sont utilisées

pour emballer les dix noix de cola traditionnellement utilisées lors des cérémonies coutumières de mariage chez les peuples de Guinée forestière et les trois noix pour demander en mariage une jeune fille de son choix à ses parents.

Les plantes cosmétiques

Peu d'informations sur cet usage ont été obtenues auprès des revendeurs. *Carapa procera* est la seule espèce de plante cosmétique rencontrée sur un étal du marché de N'Zérékoré. Son huile est extraite à partir des graines. En plus de cet usage, c'est un bon antidote en cas d'empoisonnement. Un tas d'environ quatre fruits se vend 1 500 GNF (soit 0,15 USD).

Discussion

Notre étude constitue la première du genre en Guinée forestière. Elle a mis en évidence 83 espèces végétales forestières dont les produits sont commercialisés dans les marchés urbains des sept préfectures que compte cette région. Ce nombre est inférieur à celui obtenu au Congo par Profizi *et al.* (1993), à savoir 166 espèces à usage alimentaire, 176 espèces à usage technique et 463 espèces à usage médicinal et médico-magique, ce qui peut s'expliquer par la perte de superficie forestière de cette région depuis ces travaux.

Nos travaux ont montré que les populations urbaines de la zone d'étude connaissent et utilisent une diversité de produits forestiers pour différents usages de la vie quotidienne : alimentation, médecine, artisanat, emballage et cosmétique. Ces cinq types d'usages sont identiques à ceux décrits par Bauma (2005) en République démocratique du Congo, sur les marchés de Beni et Kisangani. En revanche, Biloso et Lejoly (2006) ont recensé, dans le marché des produits forestiers non ligneux de Kinshasa en République démocratique du Congo, neuf « usages », à savoir légumes, fruits comestibles, condiments, vin, plantes d'emballage, plantes de construction, plantes textiles, plantes tinctoriales et plantes médicinales). Précisons que notre étude a regroupé plusieurs de ces éléments sous le même usage (le vin, les condiments, les légumes et les fruits comestibles étant regroupés sous le seul usage alimentaire).

Sur l'ensemble des marchés de la région de Guinée forestière, les résultats de notre étude révèlent une fortement implication des femmes (à hauteur de 93,80 %) dans la chaîne de valeurs des produits forestiers utiles. Elles supportent beaucoup de charges familiales car la plupart d'entre elles ont perdu leur mari ou celui-ci se trouve en ville et sans emploi. Les revenus générés par la vente de produits forestiers leur permettent de satisfaire de nombreuses dépenses de la vie quotidienne : fournitures scolaires, frais de scolarité des enfants, loyer et vêtements. Une étude similaire menée par Ndoye *et al.* (1998) en République démocratique du Congo révèle qu'une vaste majorité (94 %) des commerçants sont des femmes.

Les femmes africaines sont beaucoup plus impliquées dans la valorisation des produits forestiers que les hommes. Le ramassage de ces produits est exclusivement fait par les femmes. Le commerce des produits forestiers est traditionnellement une activité marginale réservée aux femmes et aux enfants.

Dans les marchés de notre zone d'étude, le prix des graines de *Garcinia kola* est de 4,44 USD le kilo, ce qui est proche du prix pratiqué au Cameroun (4,41 USD, Betti *et al*., 2016). En revanche, les graines séchées de *Piper guineense,* qui font l'objet d'un commerce important tant au plan national qu'international, se monnaient au prix de 5,55 USD le kilo, ce qui est bien inférieur au prix de vente au Cameroun (13,41 USD, Betti *et al*., 2016). Cette différence s'explique par l'existence d'un marché international pour les graines séchées de *Piper guineense* du Cameroun, notamment en France et en Belgique.

Le ramassage des fruits, la cueillette, l'écorçage et l'abattage du palmier à huile pour en extraire sa sève (nécessaire pour faire le vin) sont des méthodes d'exploitation utilisées dans la région d'étude. Cette exploitation provoque une diminution de la biodiversité forestière (Tchatat et Ndoye, 2006). Par ailleurs, ces auteurs signalent que la méthode d'extraction de la sève qui consiste à couper le stipe (méthode « par le bas ») cause de graves dégâts aux populations de palmier à huile.

Conclusion et perspectives

Ces plantes forestières utiles contribuent à la réduction de la pauvreté des populations rurales tout en satisfaisant les besoins et usages des urbains. Elles contribuent aussi à la diversification d'une alimentation de plus en plus standardisée. La valorisation des produits (transformation, packaging) pourrait toutefois être améliorée. Ces plantes peuvent également constituer un secteur rémunérateur pour l'État. En raison du déficit d'encadrement juridique des filières de ces produits en Guinée, les activités restent informelles et n'entrent pas dans l'économie nationale. L'organisation ou la responsabilisation des utilisateurs des zones urbaines et rurales de ces ressources est une stratégie clé pour atteindre la gestion durable de ces ressources. Enfin, la conservation durable des habitats forestiers doit faire l'objet d'une attention soutenue de la part des gouvernements, des services de l'État et des partenaires du développement.

Remerciements

Nous tenons à remercier le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour avoir financé le projet Fogefo-Plus. Notre gratitude va également à l'ensemble des autorités administratives et communales ainsi

qu'aux administrateurs des marchés et aux commerçants de la région de N'Zérékoré, qui ont collaboré à nos enquêtes sur les différents marchés. Ces enquêtes de terrain ont été en partie réalisées par certains étudiants du projet Fogefo-Plus, et nous les en remercions, ainsi que les autorités universitaires de N'Zérékoré. Nos remerciements s'adressent enfin à monsieur Jean-Pierre Labouisse pour son apport inestimable à la rédaction de cet article.

Références bibliographiques

Arbonnier M., 2009
Arbres, arbustes et lianes d'Afrique de l'Ouest. Troisième édition, Éditions Quae, Versailles, 573 p.

Bauma I. J., 2005
Étude de marché préliminaire sur les produits forestiers non ligneux de la République démocratique du Congo : les marchés de Beni et Kisangani. Wildlife Conservation Society. New York City, NY, 6 p. http://www.fao.org/docrep/X2161F/x2161f25.htm#TopOfPage

Betti J. L., Ngankoue C. M, Dibong S. D., Singa A. E., 2016
Étude ethnobotanique des plantes alimentaires spontanées vendues dans les marchés de Yaoundé, Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci*., 10 (4) : 1678-1693. www.researchgate.net/publication/242295623

Biloso A., Lejoly J., 2006
Étude de l'exploitation et du marché des produits forestiers non ligneux de Kinshasa. *Tropicultura*, 24 (3) : 183-188.

Correia M., Diabaté M., Beavogui P., Guilavogui K., Lamanda N., Foresta H. (de), 2010
Conserving forest tree diversity in Guinée forestière (Guinea, West Africa): the role of coffee-based agroforests. *Biodiversity and Conservation*, 19 (6) : 1725-1747.

Diawara D., 2000
Les données statistiques sur les produits forestiers non ligneux en République de Guinée. Programme de partenariat CE-FAO (1998-2001), projet GCP/INT/679/EC, FAO, Rome.

FAO, 1999
Vers une définition harmonisée des PFNL. *Unasylva*, 50 (198) : 63-64.

FAO, 2010
« Fonction socio-économique des ressources forestières ». *In* FAO (éd.) : *Évaluation des ressources forestières mondiales 2010*, FAO, Rome : 123-153

FAO, 2018
La forêt au service du développement durable. Rome, 8 p. www.fao.org/3/ca0188fr/ca0188fr.pdf

Fraser J. A., Diabaté M., Narmah W., Beavogui P., Guilavogui K., Foresta H. (de), Junqueira A. B., 2016
Cultural valuation and biodiversity conservation in the Upper Guinea forest, West Africa. *Ecology and Society,* 21 (3) : 36. http://dx.doi.org/10.5751/ES-08738-210336.

Guilavogui B., Zoumanigui K., Traore S. G., 1993
Premier zonage de Guinée forestière. Rapport de recherche. Institut de recherche agronomique de Guinée (Irag), Sérédou, 56 p.

Haba O., Loua C. A., Lamah P. J., Kolie A., Kalivogui A., 2017
Inventaire des plantes comestibles vendues dans les marchés du Centre et de Dorota dans la ville N'Zérékoté. Rapport de stage, université de N'Zérékoré, Guinée, 17 p.

Hawthorne W. D., Jongkind C. C., 2006
Woody plants of Western Africa. A guide to the forest trees shrubs and lianas from Senegal to Ghana. Royal Botanic Gardens Kew, 1 032 p.

Hawthorne W. D., Gyakari N., 2006
A photoguide to the larger trees of Ghana. Oxford Forestry Institute, Oxford, 432 p.

Lisowski S., 2009
Flore (angiospermes) de la République de Guinée. Jardin botanique national de Belgique, 517 p.

Marshall C. A. M., Hawthorne W. D., 2013
Important plants of Northen Nimba country: Liberia. A guide to the most useful, rare or ecologically important species, with Mano names and uses. Oxford Forestry Institute, Oxford, 460 p.

Ndoye O., Merez M. R., Eyebe A., 1998
Les marchés des produits forestiers non ligneux dans la zone de forêt humide du Cameroun. Réseau Foresterie pour le développement rural, doc. 22c, ODI, Porland House, Stag Place, Londres SWIE5DP, 20 p.

Profizi J. L., Makita Madzou J. P., Milandou J. C., Karada N. C., Monton M., Bitsindou I., 1993
Ressources végétales non ligneuses des forêts du Congo. Plan d'action forestier tropical du Congo (PAFT-Congo). Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 67 p.

Tchatat M., Ndoye O., 2006
Étude des produits forestiers non ligneux d'Afrique centrale : réalités et perspectives. *Bois et forêts des tropiques,* 289 (3) : 29-39.

Chapitre 3

Diversité floristique et usages des plantes forestières en zones rurales de Guinée forestière

Moussa Diabaté
Irag, Guinée

Mohamed Diabaté
Irag, Guinée

Falaye Koné
DNEF, Guinée

Ouo Ouo *Haba*
Université de N'Zérékoré, Guinée

Hubert de Foresta
IRD, France

Jean-Pierre Labouisse
Cirad, France

Introduction

L'être humain entretient des rapports séculaires avec les plantes pour ses différents besoins (Ezebilo et Mattsson, 2010). En Afrique de l'Ouest, du fait de leurs usages multiples dans les domaines de l'alimentation, de la construction, de l'énergie domestique et de la médecine traditionnelle, les ressources végétales occupent une place importante dans le quotidien des populations rurales (Theilade *et al.*, 2007 ; Zerbo *et al.*, 2011 ; Mangambu *et al.*, 2012).

En Guinée forestière, une des quatre régions naturelles de Guinée, les flores de la forêt et de la savane (herbeuse, arbustive et arborée) sont très riches et variées mais encore mal connues malgré le travail remarquable de Lisowski (2009) sur les angiospermes de Guinée. Cependant, ces flores forestières et savanicoles

jouent un rôle fondamental dans la subsistance et le développement économique des populations rurales et urbaines de la région. Les arbres sont utilisés pour leur bois d'œuvre mais aussi comme bois de feu – souvent transformé en charbon de bois – qui est, encore à présent, la principale, voire la seule, source d'énergie pour la cuisson des aliments.

Mais cette flore fournit bien d'autres produits. Fruits, graines, pousses, feuilles, racines et écorces de très nombreuses espèces sont une source d'aliments pour les humains et pour le bétail, ou sont utilisés pour la fabrication de cosmétiques, comme médicaments dans la pharmacopée traditionnelle ou comme matières premières pour l'artisanat. On ne connaît pas précisément la part que représentent les produits végétaux des forêts de Guinée forestière parmi l'ensemble des ressources tirées de l'exploitation de la nature (agriculture, élevage, pêche et chasse). Selon Diawara (2001), ils contribuent de façon significative à l'amélioration des revenus des populations, à la diversification de leur alimentation et à leur santé. Ces nombreux usages de la flore des forêts de la région de Guinée forestière sont le fruit des savoirs traditionnels des populations rurales, savoirs progressivement construits et transmis oralement de génération en génération.

En Guinée, et particulièrement en Guinée forestière, aucune étude n'a jusqu'à présent été entreprise pour inventorier de manière systématique les plantes utiles collectées dans les forêts, les produits qui en sont tirés, les usages et les savoirs traditionnels associés aux plantes forestières. Il existe toutefois quelques rares références sur l'utilisation des plantes, leur emploi pharmaceutique, leur intérêt fourrager et leur usage en médecine vétérinaire (Carriere, 2000), le plus souvent très anciennes (Pobeguin, 1912 ; Larrat, 1939 ; Basilevskaia, 1969).

Cette étude est une composante[1] du projet de recherche intitulé « Les plantes forestières utiles en Guinée forestière » (Fogefo-Plus), financé par le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D). Ce projet a eu pour objectif principal d'identifier et de recenser les plantes forestières utiles de la Guinée forestière (République de Guinée) et de caractériser leur importance économique pour les populations urbaines et rurales. Une meilleure connaissance des plantes forestières utilisées pourra sensibiliser le public sur l'importance de cette ressource naturelle et la nécessité de préserver ces plantes, dont certaines sont rares et menacées d'extinction.

En pratique, ce projet a eu pour objectifs de recenser, dans une sélection de villages de Guinée forestière, les plantes forestières utiles et leurs usages courants et, dans la mesure du possible, de constituer une collection d'échantillons destinée à être conservée dans les *Herbaria* de l'Institut de recherche agronomique de Guinée (Irag) à Sérédou (herbier Sérédou-Guinée [Serg] selon l'*Index Herbariorum*) et de l'université de N'Zérékoré (UZ). En complément de ce

1. Une deuxième composante a porté sur les produits forestiers inventoriés sur les marchés urbains de Guinée forestière et une troisième composante sur la gestion des espèces forestières par les populations rurales.

recensement, la collecte et la mise en pépinière de semences ou de boutures destinées à enrichir le jardin botanique Roland Portères de l'Irag à Sérédou contribueront à la conservation de ces espèces utiles.

Les résultats de ces inventaires réalisés dans vingt-et-un villages de Guinée forestière sont présentés dans ce chapitre, avec les noms scientifiques et vernaculaires des plantes recensées, leurs usages principaux et les parties utilisées. La richesse spécifique et la diversité floristique observées ont été analysées en fonction des principales ethnies de Guinée forestière.

Matériels et méthodes

Présentation des sites d'étude

La Guinée est située en Afrique de l'Ouest, entre 7°05' et 12°51' de latitude Nord et entre 7°30' et 15°10' de longitude Ouest. Le pays s'étend sur une superficie de 245 857 km², avec un littoral côtier de 346 km dans sa partie occidentale. Il compte 11 780 162 habitants, avec une forte croissance démographique évaluée à 2,63 % en 2015 (http://statistiques-mondiales.com/guinee.htm).

On divise traditionnellement le territoire guinéen en quatre régions naturelles : la Basse- Guinée (ou Guinée maritime), la Moyenne-Guinée, la Haute-Guinée et la Guinée forestière. Cette division est grossière car, à l'intérieur de chaque région, l'altitude, la topographie, l'hydrologie, la végétation, la température et les sols varient fortement.

La Guinée forestière est située au sud-est de la Guinée. Elle s'étend sur 49 374 km² et sa population, estimée à 1 624 513 habitants, est répartie dans sept préfectures : Beyla, Guéckédou, Kissidougou, Lola, Macenta, N'Zérékoré et Yomou. Elle est soumise à un climat tropical humide avec des précipitations annuelles variant de 1 750 à 2 000 mm, une courte saison sèche (de décembre à février) et une température moyenne annuelle de 24 °C (Boulvert, 2003). La végétation spontanée de la zone d'étude est de type forêt dense humide (Raulin, 1967). La Guinée forestière est située dans une zone de collines d'altitude moyenne comprise entre 500 et 800 m, avec des sols essentiellement ferralitiques développés sur un socle de roches granitiques (Boulvert, 2003). L'agriculture et l'exploitation de la forêt sont les principales activités de la région.

Afin d'évaluer la diversité des plantes forestières utiles dans les villages de Guinée forestière, 21 villages forestiers (trois villages pour chacune des sept préfectures de la région) ont été retenus comme sites d'étude (fig. 1 et tabl. 1) sur la base de leur diversité ethnique et linguistique et de l'accessibilité du village à un marché urbain.

Figure 1
Carte de la Guinée et de la région administrative de Guinée forestière.
Les villages sélectionnés sont représentés par des points rouges.
Carte établie avec le logiciel QGIS 3.4.
Source du fond de carte : www.gadm.org

Méthodes de travail

Recensement des plantes forestières utiles et de leurs usages courants

Dans chacun des 21 villages, après avoir présenté le projet Fogefo-Plus et ses objectifs à la population, nous avons constitué trois groupes de travail (*focus groups*) : un premier groupe comprenant des femmes âgées (45 à 75 ans), un autre avec des hommes jeunes (20 à 40 ans) et un dernier avec des hommes âgés (45 à 75 ans). Lors des réunions avec chacun de ces groupes, nous avons établi la liste des noms vernaculaires des espèces végétales utilisées par la population. Puis nous avons questionné les groupes sur les parties utilisées pour chaque espèce et sur les principaux usages de chacune d'entre elles.

Identification des plantes dans le territoire villageois

Une fois la liste la plus complète possible établie, sur la base des informations recueillies, nous avons parcouru le territoire du village avec des personnes ressources capables d'identifier les plantes sur le terrain. En complément du nom vernaculaire, l'identification botanique (famille, genre, espèce) de chaque

Tableau 1
Noms et caractéristiques des 21 villages étudiés de Guinée forestière.

N°	Préfectures	Villages forestiers	Ethnies	Accessibilité du village à un marché urbain
1	Beyla	Diarakorodou	Koniyaka	Difficile
2		Famoila	Koniyaka	Peu facile
3		Piyaro	Koniyaka	Facile
4	Guéckédougou	Kathkama	Kissi	Peu facile
5		Kébali	Kissi	Facile
6		Kondénbadou	Kissi et Malinké	Difficile
7	Kissidougou	Bondadou	Kissi et Malinké	Facile
8		Mendou	Kouranko	Peu facile
9		Nyandan	Malinké et Kouranko	Difficile
10	Lola	Gbié	Kono	Peu facile
11		Gobouta	Guerzé	Facile
12		Piné	Kono	Difficile
13	Macenta	Baladou	Toma Manignan	Peu facile
14		Lohouma	Toma	Difficile
15		Zoubouroumaï	Toma	Facile
16	N'Zérékoré	Koya	Guerzé	Peu facile
17		Nzao	Mano	Facile
18		Saadou	Koniyaka	Difficile
19	Yomou	Gbèleye	Mano, Guerzé et Koniyaka	Difficile
20		Kpéyata	Guerzé	Facile
21		Nona	Guerzé et Mano	Peu facile

espèce a été réalisée soit directement sur le terrain, soit par comparaison avec des spécimens conservés dans l'herbier Serg ou grâce à des flores et des ouvrages d'identification (Lisowski, 2009 ; Berhaut, 1975 ; Arbonnier, 2002).

Constitution d'échantillons d'herbier

Sur le terrain, nous avons prélevé sur les plantes forestières de types morphologiques variés (arbre, arbuste, arbuste lianescent, arbrisseau, herbe, liane) six échantillons d'herbiers fertiles, c'est-à-dire des rameaux feuillés portant des fleurs ou des fruits. Ces parts sont destinées à l'herbier Serg et à divers herbiers répondant aux critères internationaux en Guinée, en Europe et aux États-Unis.

Les échantillons ont été séchés avec deux sources d'énergie (solaire et gaz butane). Une fois secs, ils ont été montés sur des supports d'herbiers de trois manières différentes (montage à la ficelle, montage à la plaquette de colle à papier et montage au pistolet thermocollant), puis étiquetés.

Les différentes informations (nom scientifique, nom vernaculaire, famille, date et numéro de collecte, lieu de collecte, usage, environnement) ont été saisies dans la base de données de l'herbier Serg (sous Windows Excel). Les échantillons d'herbiers ont été scannés avec un équipement Herbscan© (scanner A3 Epson inversé conçu par Andrew McRobb) qui permet d'obtenir des images de haute résolution sans abîmer les spécimens. Les scans réalisés sont précis (600 pixels par pouce et couleur 24 bits), avec une taille inférieure à 200 Mo selon les standards internationaux. Les échantillons d'herbiers montés, informatisés et numérisés sont conservés dans les armoires de l'herbier Serg et font l'objet d'une pulvérisation d'insecticide trois fois par an.

Évaluation de la richesse spécifique et de la diversité floristique

Pour chaque village forestier, nous avons évalué la richesse spécifique (nombre d'espèces végétales, famille botanique et type végétal) et la diversité floristique (indice de Shannon) à partir des données de recensement obtenues auprès des populations rurales, complétées par celles des sorties de terrain pour l'identification et la collecte des échantillons botaniques des plantes forestières utiles.

Les variables analysées sont le nombre d'espèces végétales, le nombre d'individus par espèce et l'accessibilité d'un village à un marché urbain.

La variable calculée est l'indice de Shannon H' :

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i$$

avec *pi* la proportion de l'espèce *i* et *S* la richesse spécifique observée.

Résultats

Plantes forestières utiles recensées

Au total, 333 espèces végétales distinctes ont été recensées dans les 21 villages sélectionnés en Guinée forestière (ces données sont déposées dans un entrepôt numérique Dataverse)[2]. Les données recensées mentionnent l'espèce, la famille, les noms vernaculaires selon les ethnies, les usages et les organes utilisés. Les 333 espèces appartiennent à 76 familles botaniques (tabl. 2), parmi lesquelles six familles présentent un nombre important d'espèces : Fabaceae (69 espèces), Euphorbiaceae (24 espèces), Rubiaceae (22 espèces), Malvaceae (dix-sept espèces), Moraceae et Poaceae (quinze espèces chacune). Ces six familles constituent le fonds végétal des flores forestières et savanicoles de la Guinée forestière.

2. Liste des espèces végétales utiles recensées dans le projet Fogefo-Plus, Guinée, 2017-2020) : https://doi.org/10.18167/DVN1/LQBWC9

Tableau 2
Nombre d'espèces végétales recensées pour chacune des 76 familles.

Nombre de familles	Familles	Nombre d'espèces par famille
1	Fabaceae	69
1	Euphorbiaceae	24
1	Rubiaceae	22
1	Malvaceae	17
2	Moraceae et Poaceae	15
1	Apocynaceae et Sapindaceae	10
3	Asteraceae, Combretaceae et Meliaceae	9
1	Annonaceae	7
3	Arecaceae, Marantaceae et Verbenaceae	6
2	Solanaceae	5
6	Acanthaceae, Anacardiaceae, Bignoniaceae, Phyllanthaceae, Sapotaceae et Zingiberaceae	4
5	Araceae, Asparagaceae, Ceropiaceae, Lamiaceae et Ulmaceae	3
6	Amaranthaceae, Cyperaceae, Ochnaceae, Portulacaceae, Putranjivaceae et Simaroubaceae	2
43	Apiaceae, Araliaceae, Aristolochiaceae, Balsamiaceae, Bixaceae, Boraginaceae, Burseraceae, Cannaceae, Capparaceae, Celastraceae, Chrysobalanaceae, Clusiaceae, Commelinaceae, Connaraceae, Convolvulaceae, Crassulaceae, Cucurbitaceae, Dennstaedtiaceae, Dilleniaceae, Dioscoreaceae, Flacourtiaceae, Gentianaceae, Hypericaceae, Lauraceae, Lecytidaceae, Liliaceae, Melastomataceae, Myrsticaceae, Myrtaceae, Nyctaginaceae, Olacaceae, Onagraceae, Pandanaceae, Piperaceae, Polygalaceae, Proteaceae, Rutaceae, Selaginellaceae, Smilacaceae, Timeliaceae, Urticaceae, Violaceae et Vitaceae	1

Types morphologiques

Les 333 espèces recensées ont été classées en fonction des principaux types morphologiques (tabl. 3).

Les espèces végétales de forme arborée (143 espèces) sont les plus utilisées par les populations rurales de Guinée forestière (du fait de la physionomie végétale de la région, principalement forestière à dominance d'espèces d'arbres), suivies des espèces herbacées (60 espèces) et arbustives (58 espèces). Les arbustes lianescents (six espèces) sont peu représentés dans la flore de la région et par conséquent dans les usages.

Tableau 3
Nombre d'espèces végétales par type morphologique.

Type morphologique	Nombre d'espèces
Arbre	143
Arbuste	58
Arbuste lianescent	6
Arbrisseau	32
Liane	34
Herbe	60

Usages courants recensés

Nous avons identifié quatre principaux usages courants, une espèce pouvant avoir à la fois un usage médicinal (écorces ou racines), alimentaire (fruits, graines et huiles) et artisanal (feuilles ou rameaux).

Parmi les 333 espèces végétales recensées, 87 ont des usages alimentaires pour l'homme et les animaux, 256 ont des usages médicinaux ou magiques, 99 sont utilisées dans l'artisanat et onze espèces servent comme plantes de haie vive.

Il est intéressant de noter qu'un grand nombre de ces espèces sont utilisées à des fins médicinales, un besoin essentiel de tout être vivant. Ceci s'explique aussi par une grande connaissance des vertus médicinales de ces plantes par les villageois, par leur facilité d'accès et leur coût minime en comparaison de celui des médicaments industriels et de la médecine dispensée en milieu urbain.

Les espèces à usage de haie vive sont celles facilement clonables par micro- ou macro-bouturage, comme *Sterculia tragacantha* Lindl., *Dracaenae mannii* Baker, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., etc. Elles sont peu nombreuses dans la flore de cette région.

Organes végétaux utilisés

Sept organes (feuilles, fruits, graine, racines, écorces, tiges et fleurs) sont utilisés par les populations en zone rurale de Guinée forestière en fonction des usages :

– usage alimentaire : les parties consommées des 87 espèces végétales sont les fruits (*Dialium guineense* Willd., *Adansonia digitata* L., *Pseudospondias microcarpa* (A. Rich.) Engl., etc.), les graines (*Pterocarpus santalinoides* D. C., *Ongokea gore* (Hua) Pierre, etc.) et les feuilles (*Albizia zygia* (D. C.) J. F. Macbr., *Adansonia digitata* L., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., etc.) ;

– usage médicinal ou magique : les parties utilisées des 256 espèces végétales sont les feuilles (*Senna tora* Roxb., *Daniellia thurifera* Bennett, etc.), l'écorce (*Aninkia polycarpa* (D. C.) Setten & Maas, *Newtonia aubrevillei* (Pellegr.)

Keay, *Nauclea pobequinii* (Pellegr.) Merr., etc.) et les racines (*Cassia siberiana* D. C., *Nauclea latifolia* (Sm.) E. Abruce, etc.) ;

– usage artisanal : les principales parties utilisées des 99 espèces végétales sont les tiges, les branches et les rameaux (*Ancistrophyllum secundiflorum* (P. Beauv.) G. Mann & H. Wendl., *Microdesmis keayana* J. Léonard, etc.), les feuilles (*Hallea stipulosa* (D. C.) Leroy, *Marantochloa leucantha* (K. Schum.) Milne-Redh, etc.) et les fibres (*Elaeis guineensis* Jacq., *Raphia hookeri* G. Mann & H. Wendl., etc.) ;

– usage de haie vive : la plante entière des onze espèces végétales est utilisée (*Newbouldia laevis* (P. Beauv.) Seemann ex Bureau, *Sterculia tragacantha* Lindl., etc.).

Richesse spécifique et diversité floristique

La richesse spécifique et la diversité floristique des 21 villages forestiers ont été interprétées en fonction de leur accessibilité à un marché urbain (tabl. 4).

Les villages dont les accès à l'un des marchés urbains des sept chefs-lieux des préfectures de Guinée forestière sont difficiles (défectuosité de la route et/ou éloignement) ont des richesses spécifiques (espèces et familles) et des diversités floristiques (indice de Shannon) plus élevées et diversifiées ; ce sont respectivement les villages de : Diarakorodou (93 espèces, 36 familles et indice Shannon 4,53) dans la préfecture de Beyla ; Kondenbadou (73 espèces, 32 familles et indice Shannon 4,29) dans la préfecture de Guéckédou ; Piné (90 espèces, 38 familles et indice Shannon 4,50) préfecture de Lola ; Saadou (117 espèces, 45 familles et indice Shannon 4,76) préfecture de N'Zérékoré, et ainsi de suite sauf exception faite.

Le village de Zoboroma a, quant à lui, un accès facile au marché urbain de la préfecture de Macenta et il présente pourtant une richesse spécifique et une diversité floristique élevées (124 espèces, 44 familles et indice de Shannon de 4,82) ; cela s'explique par le fait que ce village est situé à moins d'un kilomètre de l'une des plus grandes forêts denses humides tropicales d'Afrique de l'Ouest, relativement peu dégradée : la forêt de la biosphère Ziama d'une superficie de 111 000 ha.

En revanche, les villages qui ont facilement accès à un marché urbain présentent des richesses spécifiques et des diversités floristiques (indice de Shannon) moins élevées et peu diversifiées. C'est le cas du village Bondadou (33 espèces, 23 familles et un indice de Shannon peu diversifié de 3,49) dans la préfecture de Kissidougou, du village Gobouta (38 espèces, 27 familles et un indice de Shannon de 3,63) dans la préfecture de Lola, du village Piyaro (45 espèces appartenant à 21 familles et un indice de Shannon de 3,8) et ainsi de suite.

Tableau 4
Comparaison de la richesse spécifique et de la diversité floristique des villages forestiers de Guinée forestière.

Préfecture	Village	Nombre d'espèces	Nombre de familles	Indice de Shannon	Accessibilité à un marché urbain
Beyla	Diarakorodou	93	36	4,53	Difficile
	Famoila	53	28	3,97	Peu facile
	Piyaro	45	21	3,80	Facile
Guéckédou	Kath kama	67	32	4,20	Peu facile
	Kebali	40	24	3,68	Facile
	Kondenbadou	73	32	4,29	Difficile
Kissidou	Bondadou	33	23	3,49	Facile
	Mendou	71	31	4,26	Peu facile
	Nyandan	82	31	4,40	Difficile
Lola	Gbié	84	37	4,43	Peu facile
	Gobouta	38	27	3,63	Facile
	Piné	90	38	4,50	Difficile
Macenta	Balladou	71	35	4,26	Peu facile
	Lohouma	80	34	4,38	Difficile
	Zoboroma	124	44	4,82	Facile
N'Zérékoré	Koya	73	33	4,29	Peu facile
	Nzao	63	32	4,14	Facile
	Sadou	117	41	4,76	Difficile
Yomou	Gbèlèye	107	45	4,67	Difficile
	Kpéata	64	32	4,15	Facile
	Nona	82	38	4,40	Peu facile

Par ailleurs, quatre villages présentent des richesses spécifiques et des diversités floristiques élevées et diversifiées ; ces villages sont riverains des quatre forêts denses humides tropicales classées de Guinée forestière : Zoboroma à côté de la forêt classée de Ziama, Gbèlèye à côté de la forêt de Diécké (64 000 ha), Saadou à côté de la forêt de Béro (24 000 ha) et Gbié à côté de la forêt de la réserve intégrale de biosphère des Monts Nimba (12 540 ha).

Une collection d'échantillons d'herbiers de plantes utiles

Au total, 878 échantillons botaniques fertiles de plantes forestières utiles ont été collectés et introduits dans la collection de l'herbier Serg. D'autres parts d'herbiers seront prochainement envoyés aux institutions suivantes : herbier HNG

(université Gamal Abdel Nasser, Conakry), herbier UZ de l'université de N'Zérékoré, herbier de l'Institut fondamental d'Afrique noire (Ifan, Dakar), herbier MO (Missouri Botanical Garden, St Louis) et herbier P (Muséum national d'histoire naturelle, Paris).

Un jeu de 1 552 données sur les plantes forestières utiles de Guinée forestière et un jeu de 375 données sur les espèces végétales du Mont Bilima Hénéré ont été constitués ; ces jeux de données ont été intégrés au Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org).

Discussion

Diversité des espèces végétales utilisées par les populations

En Guinée forestière, les populations rurales utilisent une grande diversité d'espèces végétales issues des forêts denses, forêts secondaires, jachères forestières et savanes (arborées, arbustives et herbeuses). Le nombre des espèces mentionnées par les populations dans cette étude (333 espèces) est supérieur à celui observé au Bénin par Dan (2009), dans la forêt marécageuse de Lokoli au Bénin, et par Badjare *et al.* (2018) dans la savane sèche au Togo, qui ont respectivement dénombré 241 et 149 espèces végétales. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que notre zone d'étude est caractérisée par une formation de forêt tropicale humide qui est l'un des écosystèmes terrestres les plus diversifiés (Sheil *et al.*, 2004 ; Poorter *et al.*, 2004).

Usage des plantes forestières

En Guinée forestière, notre étude a recensé quatre principaux usages (médicinaux, alimentaires, artisanaux et haies vives). Ce nombre d'usages des plantes forestières est nettement inférieur à celui recensé au Bénin par Hadonou-Yovo *et al.* (2019) dans la réserve de la biosphère du Mono, à savoir huit usages (médicinaux, alimentaires, artisanaux, cordes, emballages, bois énergie, bois d'œuvre, bois de service). Cette différence s'explique par le fait que notre étude n'a pas pris en compte les usages des bois (bois d'œuvre et bois énergie). En outre, certains usages (cordage et emballage) sont considérés comme « usage artisanal » dans notre étude.

Le nombre d'espèces alimentaires (87) mentionnées par les populations dans notre étude est supérieur à celui observé au Zaïre par Mosango et Szafranski (1985) dans les environs de Kisangani (48 espèces végétales). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que Kisangani est une grande agglomération avec une densité élevée de population qui exerce une forte pression sur les ressources végétales.

Le nombre d'espèces médicinales (256) utilisées par les populations de Guinée forestière est nettement supérieur à celui signalé en Côte d'Ivoire par Béné *et al.* (2016) dans le département de Transua, district du Zanzan (94 espèces). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la médecine dite « traditionnelle » est particulièrement vivante en République de Guinée. Elle est présente dans tous les villages, où elle constitue le premier recours thérapeutique des populations rurales. Elle constitue également la médecine parallèle pour tous les Guinéens, la médecine de remplacement quand le malade – et c'est souvent le cas – ne peut pas faire face au coût des médicaments importés et aussi la médecine de dernier recours si le traitement au dispensaire ou à l'hôpital semble avoir échoué. En outre, la médecine traditionnelle prospère en ville (Diallo, 1992). En effet, les plantes médicinales constituent des ressources précieuses pour la grande majorité des populations rurales en Afrique, où plus de 80 % de cette population s'en sert pour assurer les soins de santé (Jiofack *et al.*, 2010).

Richesse spécifique et diversité floristique

Les terroirs des 21 villages forestiers de Guinée forestière sont caractérisés par des formations de forêts denses, forêts galeries, forêts rupicoles, forêts secondaires, jachères forestières et savanes (arborées, arbustives et herbeuses) ; ceci explique l'importance de la richesse spécifique et de la diversité floristique des villages de Guinée forestière.

Les villages situés à proximité des réserves forestières et/ou des villages dont les accès à un marché urbain sont difficiles présentent une richesse spécifique et une diversité floristique élevées. Une étude réalisée par Correia *et al*. (2010) sur les agroforêts à café de Guinée forestière montre également que la richesse spécifique et la diversité floristique des agroforêts augmentent avec leur proximité à la forêt naturelle.

En revanche, les villages éloignés d'une réserve forestière et/ou des villages ayant un accès facile à un marché urbain présentent une richesse spécifique et une diversité floristique moins élevées. Des études (Tiffen *et al*., 1994 ; Boffa *et al*., 2005 ; Wezel et Ohl, 2005 ; Abebe *et al*., 2006) montrent également que les proximités du village à un marché régional et à une route goudronnée sont des facteurs influençant la structure et la diversité arborée des systèmes agroforestiers.

Conclusion et perspectives

Les populations rurales de Guinée forestière gèrent une gamme très variée d'espèces végétales avec une grande diversité d'usages qui participent directement ou indirectement à l'amélioration de leurs conditions de vie.

Grace à l'appui financier du programme SEP2D, cette étude, première du genre en Guinée forestière, a été menée à bien et a permis de recenser et d'identifier par leurs noms scientifiques et vernaculaires 333 espèces végétales et leurs usages principaux. Elle se poursuivra par une enquête approfondie auprès des tradipraticiens, artisans, chasseurs, pêcheurs et forgerons, afin de connaître les différentes méthodes d'utilisation et les savoirs traditionnels associés, et par une étude économique qui estimera la part autoconsommée de ces produits et celle vendue localement ou sur les marchés urbains en Guinée forestière.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme SEP2D, ses animateurs, les bailleurs et institutions partenaires (Irag, UZ, DNEF, Cirad et IRD) qui ont permis la réalisation de cette étude et contribué à son succès. Ils sont particulièrement redevables aux habitants des vingt-et-un villages forestiers pour leur bon accueil et leur collaboration aux enquêtes et aux opérations de terrain.

Références bibliographiques

Abebe T., Wiersum K. F., Bongers F., Sterck F., 2006
« Diversity and dynamics in home gardens of southern Ethiopia, Chapter 8 ». In Kumar B. M., Nair P. K. R. (eds): *Tropical homegardens: a time-tested example of sustainable agroforestry*. Springer, Dordrecht : 123-142.

Arbonnier M., 2002
Arbres, arbustes et lianes des zone sèches de l'Afrique de l'Ouest. Cirad, Montpellier, MNHN, Paris, 573 p.

Badjare B., Kokou K., Bigou-Lare N., Koumantiga D. , Akpakouma A., Adjayi M. B., Abbey G. A., 2018
Étude ethnobotanique d'espèces ligneuses des savanes sèches au Nord-Togo : diversité, usages, importance et vulnérabilité. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.,* 22 (3) : 152-171. [en ligne] https://popups.uliege.be :443/1780-4507/index.php ?id =16487

Basilevskaia V., 1969
Plantes médicinales de Guinée. Vol. 1, 270 p.

Béné K., Camara D., Fofie N'g., Bra Y., Kanga Y., Yapi A. B., Yapo Y. C., Ambe S. A., Zirihi G. N., 2016
Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le département de Transua, district du Zanzan (Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 27 (2) : 4230-4250.

Berhaut J., 1975
Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones. Tome 4 : Ficoïdées à légumineuses. Gouvernement du Sénégal, Dakar, 625 p.

Berthomé J., Bosc P. M., Darde C., 1999
Étude de capitalisation sur les dynamiques d'organisation paysanne en Guinée. Cirad-Tera, Montpellier, 250 p.

Boffa J-M., Turyomurugyendo L., Bamekow-Lilles J. P., Kindt R., 2005
Enhancing farm tree diversity as a means of conserving landscape-based biodiversity: insights from the Kigezi highlands SW Uganda. *Mountain Research for Development*, 25 : 212-217.

Boulvert Y., 2003
Guinée : carte morphopédologique à l'échelle de 1/500 000. Feuille est. IRD Éditions, Marseille.

Carriere M., 2000
Flore de Guinée : appellations vernaculaires et usages traditionnels de quelques plantes. 70 p. [en ligne] www.ethnopharmacologia.org/prelude2020/pdf/biblio-hc-32-carriere.pdf

Correia M., Diabaté M., Beavogui P., Guilavogui K., Lamanda N., Foresta H. (de), 2010
Conserving forest tree diversity in Guinée Forestière (Guinea, West Africa): the role of coffee-based agroforests. *Biodiversity and Conservation*, 19 (6) : 1725-1747.

Dan C., 2009
Études écologique, floristique, phytosociologique et ethnobotanique de la forêt marécageuse de Lokoli. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles.

Diallo Y., 1992
La médecine traditionnelle en République de Guinée. *Orstom Actualités*, (36) : 9-12.

Diawara D., 2001
Situation des ressources génétiques forestières de la Guinée. Note thématique FGR/14F, département des Forêts, FAO, Rome, 27 p.

Ezebilo E. E., Mattsson L., 2010
Contribution of non-timber forest products to livelihoods of communities in southeast Nigeria. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17 (3) : 231-235.

Hadonou-Yovo A. G., Houessou L. G., Lougbegnon T. O., Adebi Y., Sanni Sinasson G. K., Fifonsi Semevo D., Lange U., Boko M., 2019
Diversité et formes d'utilisation des espèces ligneuses de la réserve de biosphère du Mono (Bénin). *VertigO*, 19 (2).

Jiofack T., Fokunang C., Guedje N., Kemeuz V., Fongnzossie E., Nkongmeneck B. A., Mapongmetsem P. M., Tsabang N., 2010
Ethnobotanical uses of medicinals plants of two ethnoecological regions of Cameroon. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2 (3) : 60-79.

Larrat M., 1939
Médecine et pharmacie indigènes : trypanosomiases et piroplasmoses. *Bull. Serv. Zoot. Epizoot*., 2 : 55-70.

Lisowski S., 2009
Flore (angiospermes) de la République de Guinée. 1re partie (texte). Jardin botanique national de Belgique, Meise, 517 p.

Mangambu M., Van Diggelen R., Mwanga J. C., Ntahobavuka H., Malaisse F., Robbrecht E., 2012
Étude ethnoptéridologique, évaluation des risques d'extinction et stratégies de conservation aux alentours du parc national de KahuziBiega en R. D. Congo. *International Journal of Tropical Ecology and Geography*, 36 (1/2) : 137-158.

Mosango M., Szafranski F., 1985
Plantes sauvages à fruits comestibles dans les environs de Kisangani (Zaïre). *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 32 : 177-190.

Pobeguin H., 1912
Les plantes médicinales de la Guinée. Augustin Challamel éditeur, Paris, 85 p.

Poorter L., Bongers F., Kouame F. N., Hawthorne W. D., 2004
Biodiversity of West African forests: an ecological atlas of woody plant species. Cabi Publishing, Pays-Bas, 521 p.

Raulin H., 1967
La dynamique des techniques agraires en Afrique tropicale du Nord. Éditions du CNRS, Paris, 202 p.

Sheil D., Puri R. K., Basuki I., van Heist M., Wan M., Liswanti N., Sardjono M. A., Samsoedin I., Sidiyasa K., Permana E., Angi E. M., Gatzweiler F., Johnson B., Wijaya A., 2004
À la découverte de la biodiversité, de l'environnement et des perspectives des populations locales dans les paysages : méthodes pour une étude pluridisciplinaire du paysage. Center for International Forestry Research (Cifor), Bogor. 97 p.

Theilade I., Hansen H. H., Krog M., Ruffo C. K., 2007
Use values and relative importance of trees to the Kaguru people in semi-arid Tanzania. Part II: Woodland species. *Forests, Trees and Livelihoods*, 17 (2) : 109-123.

Tiffen M., Mortimore M., Gichuki F., 1994
More people, less erosion. Environmental recovery in Kenya. African Center for Technology Studies, Nairobi, 311 p.

Wezel A., Ohl J., 2005
Does Remoteness from urban centres influence plant diversity in homegardens and Swidden fields? A case study from the Matsiguenka in the Amazonian rain forest of Peru. *Agroforestry Systems*, 65 (3) : 241-251.

Zerbo P., Millogo-Rasolodimby J., Nacoulma-Ouedraogo O. G., Van Damme P., 2011
Plantes médicinales et pratiques médicales au Burkina Faso : cas des Sanan. *Bois et forêts des tropiques*, 307 (1) : 41-53.

Chapitre 4

Les plantes toxiques de trois provinces du Gabon

Blandine Akendengué
Université des Sciences de la santé, Gabon

Edlyne Myrna Caprice Bouckandou Bouyeck Essobo
Université des Sciences de la santé, Gabon

Introduction

Les plantes sont à l'origine de nombreuses intoxications dans le monde. Celles-ci sont dues (1) à la consommation de remèdes préparés par les tradithérapeutes à base de plantes mal identifiées, (2) à une automédication avec une espèce végétale toxique, (3) à un contact avec une plante irritante ou (4) à la consommation de certains compléments alimentaires. Le composant toxique peut pénétrer l'organisme par plusieurs voies : orale, cutanée ou respiratoire. Les organes touchés sont principalement le cerveau, le cœur, le foie, la peau et les reins. Les composés responsables de la toxicité des plantes sont généralement des alcaloïdes, des hétérosides stéroïdiques et cyanogéniques, des lactones sesquiterpéniques, des terpènes et des saponosides. Cependant, l'intoxication peut être également due à la contamination des plantes par des micro-organismes (Bruneton, 2005).

Le Gabon renferme une flore riche et plusieurs espèces sont utilisées pour leurs propriétés thérapeutiqueles. Malgré l'existence de structures hospitalières modernes, les populations continuent à recourir parallèlement (et prioritairement seulement en zone rurale) à la médecine traditionnelle. Les connaissances liées aux plantes relèvent d'un héritage culturel propre à chaque ethnie, notamment sur les espèces médico-magiques souvent associées aux rites (Akendengué *et al.*, 2005). Diverses publications portent sur l'usage des plantes médicinales (Akendengué et Louis, 1994 ; Raponda-Walker et

Sillans, 1995 ; Ngoua-Meye-Misso *et al.*, 2019). Des études biologiques et chimiques ont également été menées sur ces plantes (Akendengué *et al.*, 2002 ; Bourdat-Deschamps *et al.*, 2004). Cependant, peu de données existent sur leur toxicité (Lekana-Douki *et al.*, 2011), contrairement aux études menées au Mali et en Afrique du Sud (Maiga *et al.*, 2005 ; Ndhlala *et al.*, 2013).

Ce chapitre présente une enquête ethnobotanique qui a été conduite au Gabon, afin de recenser les plantes considérées comme toxiques par les tradithérapeutes et les personnes âgées.

Matériels et méthodes

L'enquête ethnobotanique a été réalisée de novembre 2017 à mars 2018, dans trois provinces du Gabon (Estuaire, Moyen Ogooué et Ngounié) choisies pour leur diversité ethnique (fig. 1). Les informations sur les plantes toxiques ont été recueillies au moyen d'enquêtes réalisées auprès de seize informateurs âgés de 40 à 62 ans, dont neuf hommes et sept femmes. Dix d'entre eux sont des tradithérapeutes. Ils appartiennent aux ethnies eshira, fang, kota, masango, myènè, nzébi et punu. Les données recueillies ont porté sur les plantes létales, à savoir le nom de la plante, l'organe utilisé, les usages toxiques et médicaux, les modes de préparation et d'administration. L'identification botanique a été réalisée à l'herbier national du Gabon par Henri Bourobou Bourobou. Une pré-enquête rétrospective a été parallèlement menée dans les services de cardiologie et de pédiatrie des Centres hospitaliers universitaires de Libreville et d'Agondjé (Estuaire), où nous avons interrogé quatre médecins sur les intoxications liées aux plantes.

Figure 1
Localisation des sites enquêtés.
© Mapbox, OpenStreetMap.

Résultats

L'enquête a permis de recenser 58 plantes toxiques, dont 51 ont été identifiées, appartenant à 47 genres et 17 familles botaniques. Les familles les plus représentées sont les Euphorbiaceae (dix espèces recensées), les Fabaceae (dix espèces) et les Apocynaceae (sept espèces). Les personnes interrogées ont classé ces plantes toxiques en cinq catégories : les plantes toxiques pour les humains (poisons et abortifs), pour les animaux terrestres (poisons de chasse et raticides), pour les poissons (plantes ichtyotoxiques), pour les vers intestinaux (plantes anthelminthiques) et, enfin, les plantes pédiculicides (anti-poux). Les espèces toxiques sont des arbres, des arbustes, des herbes et des lianes. Elles se subdivisent comme suit : treize espèces abortives dont cinq ont d'autres effets, onze poisons dont deux ont d'autres effets, treize plantes anthelminthiques dont quatre ont d'autres propriétés, dix ichtyotoxiques dont quatre ont aussi d'autres actions, cinq pédiculicides dont une est également un poison d'épreuve[1], trois poisons d'épreuve dont une est pédiculicide, deux poisons de chasse dont une est aussi ichtyotoxique, une neurotoxique, une corrosive[2] et une espèce raticide. Leurs usages médicaux sont variés (tabl. 1). Les espèces les plus citées sont *Vernonia amygdalina* Delile, *Strychnos aculeata* Soler., *S. icaja* Baill. et *Abrus precatorius* L. La figure 2 présente la répartition des plantes toxiques en fonction du type de toxicité et de leurs usages.

Figure 2
Répartition des plantes toxiques en fonction de leur usage.

Les modes de préparation des plantes sont essentiellement la macération et la trituration (tabl. 1).

Dans les Centres hospitaliers universitaires de Libreville et d'Angondjé, respectivement dix cas et six cas d'intoxications aigues ont été enregistrés en 2017 dans le service de pédiatrie, avec une insuffisance rénale grave, suite à l'administration *per os* ou rectale de macérés de feuilles de *Vernonia amygdalina*. Un seul décès a été enregistré parmi les seize patients. Une intoxication due à *Tabernanthe iboga*, ayant provoqué un arrêt cardiaque, a été également traitée dans le service de cardiologie.

1. Les poisons d'épreuve sont employés pour identifier un coupable suite à un délit.
2. Les feuilles sont écrasées et le suc est appliqué sur la peau pour soigner les dartres.

Tableau I
Plantes toxiques du Gabon : toxicité, modes de préparation et d'administration, usages médicaux.

Famille/Nom	Nom vernaculaire (ethnie) et/ou « commun »	Toxicité (organe)	Mode de préparation	Mode d'administration	Usages médicaux
Annonaceae					
Annickia chlorantha (Oliv.) Setten & Maas.	*Ogowa* (My) *Mwamba-bengue* (Ma)	Abortif (E)	Râpage	*Per os*, externe (ovule)	Paludisme Douleur abdominale
Annona squamosa L.	« Pomme cannelle »	Pédiculicide (G)	Pilage	Externe	Tumeur
Xylopia æthiopica (Dunal) A. Rich.	*Ogana* (My) Okala (Fa) *Mugana* (Ma, P)	Anthelminthique (E, F)	Macération	*Per os*	Anti-inflammatoire Stimulant
Apocynaceae					
Allamanda carthartica L.	-	Poison (T)	Macération	*Per os*	-
Alstonia boonei De Wild.	*Nguga* (My) *Mukuka* (Ma)	Anthelminthique (E)	Macération	*Per os*, externe (lavement)	Paludisme
Picralima nitida (Stapf) T. Durand & H. Durand	*Olape* (My) *Dugundu* (P)	Anthelminthique (Er)	Macération Décoction	*Per os*	Fébrifuge
Rauvolfia manii Stapf	*Mupapuntzu* (Ma) Arbuste	Pédiculicide (E)	Macération dans l'huile d'*Elaeis guineensis* Jacq.	Externe	Cicatrisant
Rauvolfia vomitoria Afzel.	*Ezongini* (My) *Muputigu* (P)	Pédiculicide (E, R)	Macération dans l'eau ou l'huile d'*E. guineensis*	Externe	Fièvre jaune Émétique
Strophanthus gratus (Wall & Hook) Baill.	*Onaï* (My)	Poison de chasse (G) en association avec *Aframomum giganteum* (Oliv. & D. Hanb.) K. Schum.	Trituration	Contact (flèche)	-

E : écorce de tronc, Er : écorce de racine, Es : Eshira, F : feuilles, Fa : Fang, G : graines, K : Kota, Ma : Masango, My : Myènè, N : Nzébi, P : Punu, R : racine, Rz : rhizome, T : tige, Tu : tubercule, - : aucune information.

Famille/Nom	Nom vernaculaire (ethnie) et/ou « commun »	Toxicité (organe)	Mode de préparation	Mode d'administration	Usages médicaux
Tabernaemontana crassa Benth.	*Irougou* (Ma)	Abortif (F)	Pilage	Externe (ovule)	Gale Plaies
Tabernanthe iboga Baill.	*Iboga* (My) *Dibouga* (E)	Neurotoxique (R)	Macération	*Per os*	Stimulant Médico-magique Infections sexuellement transmissibles Anti-diarrhéique
Voacanga africana Stapf ex Scott-Elliot	-	Poison (F)	Macération	*Per os*	-
Araceae					
Amorphophallus angolensis (Welw ex Schott) N. E. Br.	*Iyoubémwazambé* (K)	Poison (F)	Mastication	*Per os*	Galactogène
Anchomanes difformis (Blume) Engl.	*Nkwa-ndjógu* (My) « Taro du gorille »	Irritant, vertige (Rz)	Décoction	*Per os*	Galactogène
Dieffenbachia maculata (Lodd.) Sweet.	-	Poison (F)	Macération	*Per os*	Médico-magique
Asteraceae					
Chromolaena odorata (L.) R. M. King & H. Rob.	*Léku* (N) *Mouboumi* (Ma)	Poison (F, T)	Mastication / Macération	*Per os*	Cicatrisant, hémorragie, paralysie, sinusite
Vernonia amygdalina Delile	*Ndundulyè* (My) *Zomayo* (Fa) *Komgobolombo* (K)	Abortif Anthelminthique (F)	Macération	Externe (ovule) *per os*	Paludisme
Vernonia cinerea (L.) Less.	*Ndzuba* (Ma)	Anthelminthique (E, F)	Macération	*Per os*	Toux Antalgique

E : écorce de tronc, Er : écorce de racine, Es : Eshira, F : feuilles, Fa : Fang, G : graines, K : Kota, Ma : Masango, My : Myènè, N : Nzébi, P : Punu, R : racine, Rz : rhizome, T : tige, Tu : tubercule, - : aucune information.

Famille/Nom	Nom vernaculaire (ethnie) et/ou « commun »	Toxicité (organe)	Mode de préparation	Mode d'administration	Usages médicaux
Curcubitaceae					
Momordica charantia L.	*Mambouboula* (P)	Abortif (G) anthelminthique (F)	Macération	*Per os* Externe (lavement)	Paludisme Laxatif
Momordica foetida Schumach.	*Eyélé-nzom* (Fa), *Ilumbulu* (My)	Abortif (F)	Trituration	Externe (suc : col de l'utérus)	Vomitif
Euphorbiaceae					
Alchornea cordifolia (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg.	*Mbogho* (My) *Abwin* (Fa) *Miboundzili* (Ma)	Abortif (F)	Mastication	*Per os*	Diarrhée Dysenterie Douleur dentaire
Bridelia ferruginea Benth.	*Eveng* (Fa) *Givala* (E)	Abortif (E)	Macération	*Per os*	Dysenterie
Bridelia micrantha (Hochst.) Baill.	*Osésèndè, Otendya* (My)	Abortif (E)	Macération	*Per os*	-
Croton longiracemosus Hutch.	*Dibiimbi* (Ma)	Anthelminthique (R)	Décoction	*Per os*	Anti-inflammatoire
Manihot esculenta Crantz	*Iloti* (My)	Poison (F, Tu)	Cuisson	*Per os*	Cicatrisant Galactogène
Maprounea membranacea Pax & K. Hoffm.	*Ndiwa-vora* (My)	Poison (Er) Anthelminthique (F)	Macération	*Per os*	Cicatrisante
Microdesmis zenkeri Pax	*Ogandaga* (My)	Abortif (F)	Cuisson	*Per os*	Gale Médico-magique
Plagiostyles Africana (Müll. Arg.) Prain.	*Ibula* (My) *Esula* (Fa)	Ichtyotoxique (F)	Trituration	Dispersion dans l'eau	Galactogène Médico-magique

E : écorce de tronc, Er : écorce de racine, Es : Eshira, F : feuilles, Fa : Fang, G : graines, K : Kota, Ma : Masango, My : Myènè, N : Nzébi, P : Punu, R : racine, Rz : rhizome, T : tige, Tu : tubercule, - : aucune information.

Famille/Nom	Nom vernaculaire (ethnie) et/ou « commun »	Toxicité (organe)	Mode de préparation	Mode d'administration	Usages médicaux
Spondianthus preusii Engl.	*Ewogo* (My)	Raticide, ichtyotoxique (E, G)	Cuisson avec viande ou poisson/ Macération	*Per os*	Fièvre Douleur dentaire Gastrite
Tetrorchidium didymostemon (Baill.) Pax & K. Hoffm.	*Ntsavu* (My)	Ichtyotoxique (E, F)	Découpage Trituration	Dispersion dans l'eau	Antalgique Filariose Rhumatisme
Fabaceae					
Caesalpiniaceae					
Berlinia bracteosa Benth.	*Pôce* (Ma)	Poison (E)	Décoction	*Per os*	Infection pulmonaire
Cassia alata L.	*Antsovino, Avon-owanga* (My)	Corrosif (F)	Suc	Externe (peau)	Dartre
Erythrophleum ivorense A. Chev.	*Elôn* (Fa)	Poison d'épreuve (E, R)	Macération	*Per os*	Varicelle Ulcère gangréneux Cicatrisant
Pachyelasma tessmanii (Harms) Harms	*Ndènga* (My) *Ndzèc* (Fa)	Ichtyotoxique (E, Fr)	Râpage Trituration	Dispersion dans l'eau	Médico-magique
Mimosaceae					
Pentaclethra macrophylla Benth.	*Owala, Mbala* (My) *Mubala* (Ma)	Poison (Fr)	Pilage	*Per os*	Stérilité
Piptadeniastrum africanum (Hook. f.) Brenan.	*Tsumbu* (My), « Dabema »	Poison Abortif Irritant des voies respiratoires (E)	Décoction Inhalation de poussière d'écorce	*Per os*	Stérilité
Papilionaceae					

E : écorce de tronc, Er : écorce de racine, Es : Eshira, F : feuilles, Fa : Fang, G : graines, K : Kota, Ma : Masango, My : Myènè, N : Nzébi, P : Punu, R : racine, Rz : rhizome, T : tige, Tu : tubercule, - : aucune information.

Famille/Nom	Nom vernaculaire (ethnie) et/ou « commun »	Toxicité (organe)	Mode de préparation	Mode d'administration	Usages médicaux
Abrus precatorius L.	*Odépu* (My)	Poison (G)	Mastication	*Per os*	Émollient Médico-magique
Desmodium adscendens (Sw.) D. C.	*Mbenda-kukwè* (My) *Dipindà- dimukuyi* (Ma) « Arachide du diable »	Abortif, anthelminthique (F)	Cuisson	*Per os* (aliment)	Antiépileptique
Eriosema glomeratum (Guill. & Perr.) Hook. f.	*Tsamu* (Ma)	Ichtyotoxique (F)	Trituration	Dispersion dans l'eau	Syncope
Physostigma venenosum Balf.	*Ezèrè* (My)	Poison d'épreuve, pédiculicide (G)		*Per os*	Affections oculaires
Icacinaceae					
Lasianthera africana P. Beauv.	*Bolila* (Ma)	Ichtyotoxique (F)	Macération	*Per os*	Impuissance sexuelle
Lecythidaceae					
Petersianthus macrocarpus (P. Beauv.) Liben	*Mbindzu* (Ma)	Anthelminthique (E)	Cuisson	*Per os*	Grippe
Loganiaceae					
Strychnos aculeata Soler.	*Igèmbè* (My) *Dihiemba* (Ma)	Abortif (Fr) Vomitif (G) Ichtyotoxique (Fr)	Macération Trituration	*Per os*/ Dispersion dans l'eau	Émétique
Strychnos icaja Baill.	*Mbundu* (My, P)	Poison d'épreuve (E, R)	Macération	*Per os*	Diurétique

E : écorce de tronc, Er : écorce de racine, Es : Eshira, F : feuilles, Fa : Fang, G : graines, K : Kota, Ma : Masango, My : Myènè, N : Nzébi, P : Punu, R : racine, Rz : rhizome, T : tige, Tu : tubercule, - : aucune information.

Famille/Nom	Nom vernaculaire (ethnie) et/ou « commun »	Toxicité (organe)	Mode de préparation	Mode d'administration	Usages médicaux
Passifloraceae					
Barteria fistulosa Mast.	*Okómukómu*, (My)	Abortif/ ichtyotoxique (E)	Macération/ Râpage	Externe (ovule) Dispersion dans l'eau	Douleur dentaire Infections sexuellement transmissibles
Adenia lobata (Jacq.) Engl.	*Onónó* (My)	Ichtyotoxique, poison de chasse (T)	Trituration / Sève	Dispersion dans l'eau Contact	Douleur dentaire Médico-magique
Rubiaceae					
Aoranthe cladantha (K. Schum.) Somers Syn. *Porterandia cladantha* (K. Schum.) Keay	*Ibandja-ndzao* (Ma)	Anthelminthique (E)	Décoction	*Per os*	Antalgique
Rutaceae					
Zanthoxylum heitzii (Aubrév. & Pellegr.) P. G. Waterman	*Nongo mpolo* (My) *Olôn* (Fa)	Ichtyotoxique (E)	Trituration	Dispersion dans l'eau	Rhumatisme Stérilité Toux Urétrite
		Simaroubaceae			
Odyendya gabonensis (Pierre) Engl.	*Ozéndjé* (My) *Musigiri* (E, Ma)	Pédiculicide (F)	Macération dans l'huile d'*E. guineensis*	Externe	Psoriasis
Quassia africana (Baill.) Baill.	*Esimigala* (My) *Gisimigali* (E)	Anthelminthique (Er)	Macération	*Per os*	Fébrifuge Tonique
		Zingiberaceae			
Aframomum giganteum (Oliv. & Hanb) K. Schum.	*Nkombi-gombi* (My) *Diyombu* (Ma)	Anthelminthique (T)	Pilage	*Per os*	Antipaludique

E : écorce de tronc, Er : écorce de racine, Es : Eshira, F : feuilles, Fa : Fang, G : graines, K : Kota, Ma : Masango, My : Myènè, N : Nzébi, P : Punu, R : racine, Rz : rhizome, T : tige, Tu : tubercule, - : aucune information.

Barteria fistulosa.
© Blandine Akendengué.

Discussion

Depuis toujours, les populations africaines utilisent les plantes pour se soigner, chasser, pêcher, empoisonner ou avorter (Ndhlala *et al.*, 2013). Les plantes toxiques répertoriées appartiennent majoritairement aux familles des Euphorbiaceae,

Allamanda carthartica.
© Blandine Akendengué.

Fabaceae et Apocynaceae, Ce sont des poisons mortels pour les humains, des poisons de chasse ou d'épreuve, des plantes ichtyotoxiques, abortives, anthelminthiques, pédiculicides ou raticides. Les personnes enquêtées attribuent deux propriétés à certaines espèces : *Adenia lobata* (ichtyotoxique et poison de chasse), *Desmodium adscendens* et *Momordica charantia* (abortives et anthelminthiques), *Spondianthus preusii* (raticide et ichtyotoxique) et *Strychnos aculeata* (ocytocique et ichtyotoxique). Les plantes recensées sont utilisées seules à l'exception de *Strophantus gratus,* quelquefois associée à *Aframomum giganteum*.

Les treize plantes abortives recensées appartiennent à six familles, les Euphorbiaceae étant les plus représentées (quatre espèces). Les genres les plus utilisés sont *Momordica* (Curcubitaceae) et *Bridelia*. Les espèces *Alchornea cordifolia* et *Annickia chlorantha* sont abortives et antipaludiques. Cependant, chez les Myènè, *A. cordifolia* est plus connue pour ses propriétés abortives, alors qu'*Annickia chlorantha* est largement utilisée pour son action antipaludique. Les personnes enquêtées utilisent onze poisons, dont quatre Fabaceae, deux Apocynaceae et deux Araceae (*Anchomanes difformis*, *Dieffenbachia maculata*). *Chromolaena odorata* (Asteraceae) est aussi un poison violent. Les poisons d'épreuve sont également utilisés comme *Erythrophleum ivorense* (Fabaceae). Les dix plantes ichtyotoxiques sont réparties en six familles : les Euphorbiaceae (*Plagiostyles africana*, *Spondianthus preusii*, *Tetrorchidium didymostemon*), les Fabaceae (*Pachyelasma tessmanii*, *Eriosema glomeratum*), les Passifloraceae (*Adenia lobata*, *Barteria fistulosa*) et les Loganiaceae (*Strychnos aculeata*). Les ichtyotoxiques, les pédiculicides (cinq espèces) et les

poisons de chasse sont employés en milieu rural. *Alstonia boonei*, *Picralima nitida*, *Vernonia amygdalina* et *Quassia africana* font partie des treize plantes anthelminthiques répertoriées. *Tabernanthe iboga*, stimulant physique et psychique, est le seul neurotoxique cité.

En milieu hospitalier, parmi les seize cas d'intoxications aiguës enregistrés dans le service de pédiatrie, avec insuffisance rénale grave, suite à l'administration de *Vernonia amygdalina*, un seul patient est décédé. L'arrêt cardiaque traité dans le service de cardiologie a été provoqué par *Tabernanthe iboga*, consommée lors d'un rite. Cependant, toutes les morbidités liées à des intoxications par les plantes ne sont pas signalées, notamment en zone rurale.

L'ibogaïne est responsable des toxicités de *Tabernanthe iboga* et *Tabernaemontana crassa* sur le système nerveux central. La toxicité des Apocynaceae est due aux alcaloïdes indoliques, contenus notamment dans *Rauvolfia manii*, *R. vomitoria* et *Strophantus gratus,* dont l'ouabaïne provoque un dysfonctionnement cardiaque (Bruneton, 2005). Les toxicités d'*Allamanda carthartica* et de *Voacanga africana* sont connues (Akendengué *et al.*, 2005 ; Bruneton, 2005). Au Gabon, *A. carthartica* et *Dieffenbachia maculata* sont des espèces ornementales, ainsi que *Catharanthus roseus* (L.) G. Don., *Nerium oleander* L. et *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum., également toxiques. Les usages médicaux n'ont pas été cités pour *Bridelia micrantha*, *V. africana*, *S. gratus*, *A. carthartica* et *D. maculata*.

T. peruviana provoque des troubles gastro-intestinaux. Des arythmies, bradycardies, diarrhées et vomissements sont signalés avec *N. oleander* (Bruneton, 2005 ; Diaz, 2016).

Une béta-amyrine isolée de *Bridelia ferruginea* s'est révélée cytotoxique *in vitro* sur *Artemia salina* (Fabiyi *et al*., 2012). *Bridelia micrantha* est cytotoxique sur des cellules cancéreuses (Ochwang'i *et al.*, 2018). La maprounéone est responsable de la toxicité de *Maprounea membranacea* (Tessier *et al.,* 1975). La toxicité de *Manihot esculenta* est due aux glycosides cyanogéniques, notamment la linamarine (Jones, 1998 ; Vetter, 2000 ; Diaz, 2016). Les propriétés abortives d'*Alchornea cordifolia*, *Annickia chlorantha* et *Barteria fistulosa* sont décrites dans les travaux de Adjanohoun *et al*. (1984). L'action antipaludique d'*Annickia chlorantha* est due aux alcaloïdes (Bourdat-Deschamps *et al.*, 2004). *A. cordifolia* a un effet sur l'aorte du rat (Eliakim-Ikechukwu et Riman, 2009) et son hypothalamus (Effo *et al.,* 2013). *B. fistulosa* soigne les infections (Akendengué et Louis, 1994). Les Euphorbiaceae et les Fabaceae sont ichtyotoxiques (Neuwinger, 2004). Les fruits de *P. tessmanii* sont aussi utilisés au Cameroun comme ichtyotoxiques (Noumi, 2004).

Les toxicités d'*Adenia lobata* et de *Strychnos aculeata*, espèces également utilisées au Cameroun (Noumi, 2004), sont dues aux glycosides cyanogéniques (Neuwinger, 2004). *S. aculeata* et *S. icaja* contiennent aussi de la strychnine (Ohiri *et al*., 1983). *Spondianthus preusi* est un raticide (Stäuble, 1986), dont la toxicité est due à la curcubitacine L (Tessier *et al.*, 1975). Celle de *T. didymostemon* est imputable aux saponines (Onanga *et al.,* 1999). *T. didymostemon* induit une baisse d'hémoglobine (Ebohon *et al.,* 2020).

Les toxicités de *Berlinia bracteosa* et d'*Erythrophleum ivorense* sont connues (Wagner, 1986). *E. ivorense* induit des toxicités aux niveaux hépatique et rénal (Adu-Amoaha *et al*., 2014). Les graines d'*A. precatorius* sont abortives et anthelminthiques (Garaniya et Bapodra, 2014), et un cas de myélite encéphalique a été rapporté (Ninan et James, 2019). Leur toxicité est due aux toxalbumines (Diaz, 2016) et à l'abrine qui induisent une gastroentérite sévère. La physostigmine de *P. venenosum* provoque des troubles cardiaques (Bruneton, 2005).

Anchomanes difformis est cytotoxique (Bero *et al*. 2011). *Dieffenbachia maculata* provoque des érythèmes imputables à l'oxalate de calcium et aux saponines (Arditti et Rodriguez 1982 ; Petersen, 2011 ; Otang *et al*., 2014). *Amorphophallus angolensis* contient de la triméthylamine et des méthylsulfures (Kite et Hetterscheid 2017). La toxicité d'*A. angolensis* subsp. *maculatus* (syn. *A. maculatus*) a été décrite (Raponda-Walker et Sillans, 1995). Elle traite cependant les infections sexuellement transmissibles (Akendengué et Louis, 1994). Des flavonoïdes isolés de *C. odorata* se sont révélé être des cytotoxiques *in vitro* sur des cellules cancéreuses (Hung *et al*., 2011). Cette espèce est toxique à forte dose chez le rat (Asomugha *et al.,* 2013), action due aux alcaloïdes pyrrolizidiniques (Edgar *et al*., 2015 ; Brahima et Witabouna, 2017).

Pentaclethra macroplylla induit des changements glomerulo-néphrotiques dans le rein chez les rats (Ajayi *et al*., 2008). Les toxicités et cytotoxicités de *Piptadeniastrum africanum* ont été décrites dans les travaux de Adjanohoun *et al*. (1984) et de Mesia *et al*. (2008).

Alstonia boonei (Noumi, 2001), *Picralima nitida* (Erharuyi *et al*., 2014), *Vernonia amygdalina* (Adjanohoun *et al*., 1984 ; Toyang et Verpoorte, 2013) et *Quassia africana (*Musuyu Muganza *et al*., 2012) sont des anthelminthiques connus. *P. nitida* s'est révélé tératogène (Awodele *et al.,* 2019). L'action abortive et anthelminthique de *Momordica charantia* (Grover et Yadav, 2004) est due aux momorcharines et cucurbitacines qui induisent des mélanomes et un eczéma (Niang *et al*., 2020). *Petersianthus macrocarpus* est abortive (Ngoua-Meye-Misso *et al.,* 2019). D'autres espèces anthelminthiques ont été recensées au Gabon, notamment *Alstonia congensis*, *Cassia alata* (Wagner, 1986) et *Cleistopholis patens* (Akendengué *et al*., 2009).

Nous rapportons, semble-t-il, pour la première fois les toxicités de *Lasianthera africana* et de l'écorce de *Pachyelasma tessmanii,* ainsi que les actions ocytociques et anthelminthiques de *Desmodium adscendens*.

Conclusion et perspectives

L'enquête a permis de recenser, dans trois provinces du Gabon, 51 plantes toxiques réputées être des poisons, abortives, anthelminthiques et ichtyotoxiques. Une revue de la littérature montre que certaines de ces espèces ont déjà été

étudiées et des molécules actives déjà isolées. Les études biologiques et chimiques des espèces peu connues mériteraient toutefois d'être réalisées. L'édition d'un catalogue permettrait également une meilleure diffusion des connaissances sur les dangers de ces plantes toxiques.

Remerciements

Les auteurs remercient tous les informateurs et M. Henri Bourobou Bourobou de l'herbier national du Gabon pour l'identification des plantes. Ils expriment leur gratitude au professeur Jean Koko du service de pédiatrie, au docteur Elsa Ayo du service de cardiologie du Centre hospitalier universitaire de Libreville et au professeur Simon Ategbo, anciennement du service de pédiatrie du Centre hospitalier universitaire d'Angondjé.

Autorisation de collecte d'échantillons et de données

Nous avons obtenu une autorisation d'accès et d'exploitation de connaissances traditionnelles associées aux ressources génétiques. Les données recueillies ont été déposées à l'Autorité nationale compétente du protocole de Nagoya sur l'accès et le partage des avantages.

Références bibliographiques

Adjanohoun E. J, Ahyi A. M., Ake-Assi L., Chibon P., Vecchy H. (de), Duboze E. *et al.*, 1984
Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques au Gabon. Médecine traditionnelle et pharmacopée. ACCT, Paris, 294 p.

Adu-Amoaha L., Agyare C., Kisseih E., Ayande P. G., Mensah K. B., 2014
Toxicity assessment of *Erythrophleum ivorense* and *Parquetina nigrescens*. *Toxicology Reports*, 1 : 411-420.

Ajayi I. A., Oderinde R. A., Taiwo V. O., Agbedana E. O., 2008
Short-term toxicological evaluation of *Terminalia catappa*, *Pentaclethra macrophylla* and *Calophyllum inophyllum* seed oils in rats. *Food Chemistry*, 106 : 458-465.

Akendengué B., Louis A. M., 1994
Medicinal plants used by the Masango people in Gabon. *Journal of Ethnopharmacology*, 41 : 193-200.

Akendengué B., Roblot F., Loiseau P. M., Bories C., Ngou Milama E., Laurens A., Hocquemiller R., 2002
Klaivanolide, an antiprotozoal lactone from *Uvaria klaineana*. *Phytochemistry*, 59 : 885-888.

Akendengué B., Lemamy G. J., Bourobou Bourobou H., Laurens A., 2005
Bioactive natural compounds from medico-magic plants of Bantu area. *In* Atta-ur-Rahman (ed.) : *Studies in Natural Products Chemistry*, Amsterdam, 32 : 803-820.

Akendengué B., Champy P., Nzamba J., Roblot F., Loiseau P., Bories C., 2009
Antifungal and anthelmintic activities of *Cleistopholis patens* (Annonaceae). *Planta Medica*, 75 : 1-3.

Arditti J., Rodriguez E., 1982
Diffenbachia: uses, abuses and toxic constituents: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 5 : 293-302.

Asomugha R. N., Okafor P. N., Ijeh I. I., Orisakwe O. E., Asomugha A. L., Ndefo J. C., 2013
Toxicological evaluation of aqueous leaf extract of *Chromolaena odorata* in male wistar albino rats. *Journal of Applied Pharmaceutical Science,* 3 (12) : 89-92.

Awodele O., Coulidiaty A. G. V., Oluyemi Afolayana G., Agagua S., Omoseyindemi B., Busiae K., 2019
Toxicological evaluation of *Picralima nitida* in rodents. *Journal of Ethnopharmacology,* 236 : 205-219.

Bero J., Hannaert V., Chataigné G., Hérent M.-F., Quetin-Leclercq J., 2011
In vitro antitrypanosomal and antileishmanial activity of plants used in Benin in traditional medicine and bio-guided fractionation of the most active extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 137 : 998-1002.

Bourdat-Deschamps M., Herrenknecht C., Akendengué B., Laurens A., Hocquemiller R., 2004
Separation of protoberberine quaternary alkaloids from a crude extract of *Enantia chlorantha* by centrifugal partition chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1041 : 143-152.

Brahima K., Witabouna K.M., 2017
Analyse qualitative et quantitative des alcaloïdes pyrrolizidiniques chez quelques Asteraceae, Boraginaceae et Leguminosae utilisées en médecine traditionnelle en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal,* 13 (12) : 70-83.

Bruneton J., 2005
Plantes toxiques : végétaux dangereux pour l'homme et les animaux. 3e édition. Tec & Doc, EM inter, Paris, 618 p.

Diaz J. H., 2016
Poisoning by herbs and plants: rapid toxidromic classification and diagnosis. *Wilderness & Environmental Medicine*, 27 : 136-152.

Ebohon O., Irabor F., Omoregie E. S., 2020
Sub-acute toxicity study of methanol extract of *Tetrorchidium didymostemon* leaves using biochemical analyses and gene expression in Wistar rats. *Heliyon*, 6 : 1-9.

Edgar J. A, Molyneux R. J, Colegate S. M., 2015
Pyrrolizidine alkaloids: potential role in the etiology of cancers, pulmonary hypertension, congenital anomalies and liver disease. *Chemical Research in Toxicology*, 28 (1) : 4-20.

Effo K. E., Kouakou-Siransy G., Irie-Nguessan G., Sawadogo R. W., Dally I. L., Kamenan A. B., Kouakou L. S., Kablan-Brou J., 2013
Acute toxicity and antipyretic activities of a methanolic extract of *Alchornea cordifolia* leaves. *Pharmacology & Pharmacy,* 4 : 1-6.

Eliakim-Ikechukwu C. F., Riman E. B., 2009
The effect of aqueous ethanolic extract of *Alchornea cordifolia* leaf on the histology of the aorta of wistar rats. *Nigerian Journal of Physiological Sciences*, 24 (2) : 149-151.

Erharuyi O., Falodun A., Langer P., 2014
Medicinal uses, phytochemistry and pharmacology of *Picralima nitida* (Apocynaceae) in tropical diseases: A review. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine,* 7 (1) : 1-8.

Fabiyi O. A., Atolani O., Adeyemi O. S., Olatunji G. A., 2012
Antioxidant and cytotoxicity of β-Amyrin acetate fraction from *Bridelia ferruginea* leaves. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* : S981-S984.

Garaniya N., Atul Bapodra A., 2014
Ethnobotanical and phytophrmacological potential of *Abrus precatorius* L.: a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 4 (Suppl 1) : S27-S34.

Grover J. K., Yadav S. P., 2004
Pharmacological actions and potential uses of *Momordica charantia*: a review. *Journal of Ethnopharmacology,* 93 : 123-132.

Heinrich M., Chan J., Wanke S., Neinhuis C., Simmonds M. S. J., 2009
Local uses of *Aristolochia* species and content of nephrotoxic aristolochic acid 1 and 2. A global assessment based on bibliographic sources. *Journal of Ethnopharmacology*, 125 : 108-144.

Hung T. H., Cuong T. D., Dang N. H., Zhu S., Long P. Q., Komatsu K., Min B. S., 2011
Flavonoid glycosides from Chromolaena odorata leaves and their in vitro cytotoxic activity. *Chem. Pharm. Bull*., 59 (1) : 129-131.

Jones D. A., 1998
Why are so many food plants cyanogenic? *Phytochemistry,* 47 (2) : 155-162.

Kandé B., Koné M. W., 2017
Analyse qualitative et quantitative des alcaloïdes pyrrolizidiniques chez quelques Asteraceae, Boraginaceae et Leguminosae utilisées en médecine traditionnelle en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 13 (12) : 70-83.

Kite G. C., Hetterscheid W. L. A., 2017
Phylogenetic trends in the evolution of inflorescence odours in *Amorphophallus*. *Phytochemistry*, 142 : 126-142.

Lekana-Douki J. B., Bongui J. B., Oyegue Liabagui S. L., Zang Edou S. E., Zatra R., Bisvigou U., Druilhe P., Lebibi J., Toure Ndouo F. S., Kombila M., 2011
In vitro antiplasmodial activity and cytotoxicity of nine plants traditionally used in Gabon. *Journal of Ethnopharmacology*, 133 : 1103-1108.

Maiga A., Diallo D., Fane S., Sanogo R., Paulsen B. S., Cisse B., 2005
A survey of toxic plants on the market in the district of Bamako, Mali: traditional knowledge compared with a literature search of modern pharmacology and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*, 96 : 183-193.

Mesia G. K., Tona G. L., Nanga T. H., Cimanga R. K., Apers S., Cos P., Maes L., Pieters L., Vlietinck A. J., 2008
Antiprotozoal and cytotoxic screening of 45 plant extracts from Democratic Republic of Congo. *Journal of Ethnopharmacology*, 115 : 409-415.

Musuyu Muganza D., Fruth B. I., Nzunzu Lami J., Mesia G. K., Kambua O. K., Tona G. L., Cimanga Kanyanga R., Cos P., Maes L., Apers S., Pieters L., 2012
In vitro antiprotozoal and cytotoxic activity of 33 ethonopharmacologically selected medicinal plants from Democratic Republic of Congo. *Journal of Ethnopharmacology*, 141 : 301-308.

Ndhlala A. R., Ncube B., Okem A., Mulaudzi R. B., Van Staden J., 2013
Toxicology of some important medicinal plants in southern Africa. *Food and Chemical Toxicology*, 62 : 609-621.

Neuwinger H. D, 2004
Plants used for poison fishing in tropical Africa. *Toxicon*, 44 : 417-430.

Niang S. O., Diatta B. A., Tine Y., Diadié S., Diop K., Ndiaye C., Ndour N., Deh A., Ndiaye M., 2020
Prise en charge des hypersensibilités retardées aux plantes médicinales. Management of delayed hypersensibilities in medicinal plants. *Revue française d'allergologie*, 60 : 275-276.

Ninan E. C., James E., 2019
Acute disseminated encephalomyelitis due to *abrus precatorius* poisoning. A case report. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27 : 521-524.

Noumi E., Yomi A., 2001
Medicinal plants used for intestinal diseases in Mbalmayo Region, Central Province, Cameroon. *Fitoterapia*, 72 : 246-254.

Ngoua-Meye-Misso R. L., Sima-Obiang C., Ndong J. C., Ndong-Atome G. R., Ondo J. P., Ovono Abessolo F., Obame-Engong L. C., 2019
Medicinal plants used in management of cancer and other related diseases in Woleu-Ntem province, Gabon. *European Journal of Integrative Medicine,* 29 : 100924.

Noumi E., 2004
Animal and plant poisons and their antidotes in Eseka and Mbalmayo regions, Centre Province, Cameroon. *Journal of Ethnopharmacology*, 93 : 231-241.

Ochwang'i D. O., Kimwele C. N., Oduma J. A., Gathumbi P. K., Kiama S. G., Efferth T., 2018
Cytotoxic activity of medicinal plants of the Kakamega County (Kenya) against drugsensitive and multidrug-resistant cancer cells, *Journal of Ethnopharmacology*, 215 : 233-240.

Ohiri F. C., Verpoorte R., Baerheim Svendsen A., 1983
The African strychnos species and their alkaloids: a review. *Journal of Ethnopharmacology*, 9 : 167-223.

Onanga M., Ekouya A., Ouabonzi A., Itoua G. B., 1999
Ethnobotanical, pharmacological and chemical studies of plants used in the treatment of 'Mwandza' dermatites. *Fitoterapia*, 70 : 579-585.

Otang W. M., Grierson D. S., Afolayan A. J., 2014
A survey of plants responsible for causing irritant contact dermatitis in the Amathole district, eastern cape, South Africa. *Journal of Ethnopharmacology*, 157 : 274-284.

Petersen D. D., 2011
Common plant toxicology: a comparison of national and Southwest Ohio data trends on plant poisonings in the 21st century. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 254 : 148-153.

Raponda-Walker A., Sillans R., 1995
Les plantes utiles du Gabon. Saint-Éxupéry-Sepia, Fondation Raponda Walker, Libreville, 614 p.

Stäuble N., 1986
Enquête ethnobotanique des Euphorbiaceae d'Afrique de l'Ouest. *Journal of Ethnopharmacology*, 16 : 23-103.

Tessier A. M., Bouquet A., Paris R. R., 1975
Sur quelques Euphorbiacées toxiques africaines. *Plantes médicinales et Phytothérapie*, IX (3) : 238-249.

Toyang N. J., Verpoorte R., 2013
A review of the medicinal potentials of plants of the genus V*ernonia* (Asteraceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 146 : 681-723.

Vetter J., 2000
Plant cyanogenic glycosides. *Toxicon*, 38 : 11-36.

Wagner A., 1986
Aspect des médecines traditionnelles du Gabon. Éditions Universelles, Paris : 150-152.

Chapitre 5

Origine et transmission de la culture du palmier rônier dans l'ouest du Burkina Faso

Ali Bene
Inera, Burkina Faso
IRD, France

Anne Fournier
IRD, France

Introduction : le rônier, un végétal polyvalent et protégé

Borassus akeassii Bayton, Ouédr. et Guinko pousse dans les zones semi-arides et subhumides d'Afrique tropicale, y compris sur des sols pauvres en nutriments (Giffard, 1967 ; Dransfield *et al*., 2008). La plante, des racines aux feuilles, est utilisée par les habitants de ces régions. Divers usages économiques (vin de rônier, vannerie, construction avec les stipes imputrescibles, etc.) sont mentionnés (Lorillard, 2005 ; Boffa, 2000 : 22). L'usage rituel du vin de rônier est fréquent et les masques tanda (Bassari de Guinée-Bissau) comportent des feuilles de rônier (Gessain, 1990), ainsi que ceux des grands-prêtres de la divinité Nyigblin chez les Bê-Togo du Sud-Togo (Etou, 2007). Au Burkina Faso, l'espèce bénéficie de mesures de protection particulières depuis l'arrêté n° 1762 S.F.CH. du 30 décembre 1948, portant application de certaines dispositions du décret du 4 juillet 1935 sur le régime forestier en Afrique occidentale française. À la différence de *B. æthiopum* rencontré dans l'est du pays, *B. akeassii* est une espèce exotique cultivée (Tauxier, 1933 ; Bégué, 1937). Depuis des siècles, le rônier fait partie intégrante de la vie de sociétés de l'ouest du pays (Turka, Karabaro, Jula, etc.) qui l'utilisent plus que d'autres et ont développé un savoir-faire et une économie active autour de cette plante (Cassou, 1996 ; Chevalier,

1930 ; Guinko et Ouedraogo, 2005 ; Yaméogo *et al.*, 2008). D'après nos enquêtes, elles auraient acquis les unes des autres la plante et le savoir-faire qui lui est lié. Cet article tente de retracer l'histoire de ce végétal : son introduction et sa transmission entre les groupes qui la cultivent aujourd'hui.

Matériels et méthodes

Une étude menée dans l'ouest du Burkina Faso

L'ouest du Burkina Faso est réputé pour ses multiples populations de rôniers (Guinko, 1984 ; Bayton et Quédraogo, 2009 ; Thiombiano et Kampmann, 2010 ; IFN, 2016). L'espèce, assez commune dans les régions administratives des Cascades et des Hauts-Bassins, y forme des peuplements plus ou moins denses sous lesquels sont pratiquées des cultures pluviales (mil, maïs, arachide, etc.) et même l'arboriculture. Dans cette partie du pays, les langues se rattachent aux familles Mande, Gur et Kru, et chaque société possède son identité culturelle (fig. 1).

Une revue de la littérature et des enquêtes ethnologiques

Pour retracer l'histoire du rônier cultivé dans l'ouest du Burkina, nous avons d'abord eu recours à une revue de la littérature qui prend en compte divers documents scientifiques et administratifs d'archives historiques consultés aux Archives nationales d'Outre-Mer d'Aix-en-Provence en France, à la bibliothèque historique du Cirad (France) et dans divers centres de documentation et bibliothèques du Burkina Faso. C'est ainsi que nous avons identifié les Karaboro, les Turka, les Gouin et les Toussian comme étant les pionniers de la culture du rônier. En plus des archives, des enquêtes ethnologiques (entretiens libres et semi-structurés) menées selon des méthodes classiques (Olivier de Sardan, 2003) ont été menées avec des personnes susceptibles de détenir des savoirs historiques sur le rônier (identifiées avec le concours des autorités coutumières et administratives). Plus de 80 personnes des deux sexes, âgées de plus de 40 ans pour la plupart, ont été consultées entre juillet 2018 et août 2020 dans deux villages par société (Tiékouna et Sitiena pour les Karaboro ; Wolokonto et Moussodougou pour les Turka ; Gouindougouba et Niankar pour les Gouin ; Toussianmasso et Gossiamandara pour les Toussian). Quelques informations ponctuelles provenant d'autres sociétés ou villages ont également été recueillies.

Figure 1

Localisation de la zone d'étude avec la répartition des sociétés dans l'ouest du Burkina Faso.

Sources : IGB/IRSSH – 1988 *in* www.ethnologue.com

Résultats et discussion

L'introduction du rônier *B. akeassii* : une histoire ancienne et ambigüe

De manière générale, le rônier est perçu par les sociétés de l'ouest du Burkina Faso comme une bénédiction, aussi sa possession suscite-t-elle de la fierté. L'histoire de son adoption reste toutefois énigmatique. Les différents groupes délivrent à ce sujet des récits liés à des histoires locales, dont certains relèvent certainement du mythe. Si certains pensent que les peuplements dans cette région se sont installés naturellement par l'intermédiaire des éléphants, qui sont effectivement des disséminateurs des fruits, d'autres soutiennent que leur origine est exclusivement humaine. C'est cette dernière thèse, la plus courante, qui a été recueillie par les premiers naturalistes (Bellouard, 1950 ; Aubréville, 1950). D'autres personnes, moins nombreuses, expliquent que le rônier a été offert aux ancêtres de leur village par des génies de brousse pour leur fournir une ressource alimentaire supplémentaire. Le rônier participe aussi souvent aux pratiques rituelles et il est alors considéré comme sacré, une dimension mystique qui a fortement contribué à son maintien dans certains groupes. La mise en culture et l'utilisation de l'espèce sont alors rituellement encadrées, qu'il s'agisse de recevoir des graines, de les semer et de les faire germer ou de choisir l'endroit où les cultiver. Les rôneraies étaient mises en place par des familles dans les champs et au voisinage des habitations, puis gérées par des règles traditionnelles selon lesquelles l'appropriation privée individuelle n'existe guère. Seuls les usufruitiers avaient le droit de planter et d'utiliser le rônier et son statut était lié à celui de la terre. Les infractions étaient et sont encore punies de sanctions, parfois lourdes (la mort), venant de l'invisible. Chronologiquement, le rônier aurait été le premier « arbre » cultivé dans l'ouest du pays, avant l'anacarde et même le manguier. Un adage turka le qualifie de généreuse source de boisson : « la vieille dame ne va pas au marigot, mais elle a toujours de l'eau dans son canari ».

Quasiment toutes les personnes interrogées s'accordent sur le caractère exotique du végétal et attribuent sa présence à une intervention humaine. Bien que le repérage du premier village qui a cultivé le rônier dans la région reste débattue, certaines informations se recoupent avec assez de régularité pour pouvoir poser des hypothèses solides. Les Karaboro, qui sont désignés par les voisins (Gouin, Turka, Toussian, etc.) comme les pionniers de la culture du rônier, viendraient du nord de la Côte-d'Ivoire et n'auraient adopté le rônier qu'après leur installation dans la région de Banfora. Ils disent toutefois ne pas en être les premiers détenteurs, mais être seulement les précurseurs de sa culture à grande échelle. D'après eux, la plante aurait été introduite depuis le nord du Ghana par une autre société vers le XVe siècle avant de parvenir, plusieurs siècles plus tard, dans l'ouest du Burkina Faso à la faveur de nombreux déplacements de peuples (Traoré, 2007). Les ancêtres des Karaboro l'auraient adoptée au XVIIIe siècle à des fins alimentaires, notamment pour le vin. Les divers groupes karaboro

n'ont pas acquis le rônier à la même période ni dans les mêmes conditions, et il en est de même pour les autres sociétés. La diffusion de l'espèce a emprunté des circuits locaux variés.

La culture du palmier rônier, une transmission locale entre voisins dès le XVIIIe siècle

Après les Karaboro, d'autres sociétés se sont intéressées au rônier, d'abord pour son usage alimentaire (fruit et vin) lors des disettes. Plus tard, des dimensions sociales (coutumes), puis économiques se sont ajoutées. Ainsi, les rôneraies se sont peu à peu multipliées et étendues à partir du pays karaboro. Les informations que l'on peut recueillir sur l'identité des donneurs et la période de transmission restent assez vagues dans les autres sociétés. Aussi, est-il difficile d'établir une chronologie solide par enquête. D'autres éléments permettent toutefois d'étayer des hypothèses.

Les Turka et les Gouin, deux groupes culturellement proches, se seraient installés dans leur territoire actuel entre les XVIIe et XVIIIe siècles (Hébert, 1969). Ils auraient adopté la culture du rônier entre la fin du XVIIIe et le début du XIXe siècle, mais les gens n'en savent pas plus. Les enquêtes révèlent que les rôneraies d'une société peuvent avoir été acquises auprès de donneurs divers et à des époques différentes. Les Turka sont estimés par leurs voisins gouin comme étant plus habiles qu'eux-mêmes dans la culture du rônier. Ils possèdent les plus grandes rôneraies après les Karaboro ; leurs modes culturaux et leurs outils d'exploitation ressemblent beaucoup à ceux des Karaboro. Les gens n'affirment pas clairement que les Turka ont pratiqué la culture du rônier avant les Gouin, mais leurs propos le laissent penser.

En terroir gouin, un habitant de 91 ans de Gouindougouba avance le témoignage suivant au sujet de la mise en place d'une partie des rôneraies de son village :

« [Quand j'étais enfant], la convoitise pour le rônier était telle qu'elle se transformait souvent en une véritable jalousie de ceux qui n'en possédaient pas envers les sociétés voisines qui en avaient. [Dans notre village], seule la famille du chef traditionnel détenait quelques pieds de rôniers dont les rares graines ne suffisaient pas à satisfaire les demandes des autres villageois. [C'est pourquoi,] comme d'autres chefs de famille, mon oncle a fait une demande auprès d'un ami turka du village de Moussodougou. C'est ainsi que mon grand frère et moi avons été envoyés chez les Turka pour aller y chercher des graines. Levés très tôt et un poulet en main [comme cadeau], nous avons effectué à pied un trajet d'environ 100 km aller-retour, pour rapporter quelques kilogrammes de graines que nous avons par la suite semés autour de notre habitation. J'avais environ 7 ans, pourtant je me rappelle des détails comme si c'était hier. Tous ces pieds qui nous entourent sont issus de ce don ».

D'autres témoignages font état de la formation de plusieurs extracteurs des villages de Gouindougouba et Gouindougouni par des Turka de Moussodougou, Wolonkoto et Douna. La transmission s'est donc faite entre groupes vivant à proximité les uns des autres. Les premiers Turka seraient parvenus dans la région

au début du XVIIIe siècle, essaimant progressivement dans tout le pays turka actuel (Hébert, 1969). Les uns après les autres, ils ont acquis le rônier auprès de voisins karaboro et turka. Les anciens de Moussodougou ont entendu de leurs parents que les premiers détenteurs de la plante, généralement des notables, partageaient les quelques fruits mûrs entre les autres familles. Un tel système communautaire de partage intra-société a permis à beaucoup de familles de posséder des rôniers. Certains groupes gouin, notamment du sud de la ville de Banfora (ex. Niankar, Diarabakoko), rapportent avoir acquis des rôniers chez les Karaboro. Chez les Gouin, le partage du rônier était accompagné d'offrandes (poulets), pour favoriser la bonne production en fruits et en vin et pour témoigner la reconnaissance envers ceux qui l'avaient planté. Cette pratique, aujourd'hui disparue, a ensuite régressé au fil des générations.

Pour les Toussian, Siamou, Senoufo, Bobo, Tiéfo, Jula, Warra, etc., qui n'ont eu le végétal que plus tard, les périodes et les modalités d'adoption du rônier n'ont pu être élucidées. Les enquêtes ont cependant révélé l'ancienneté de l'ancrage traditionnel du rônier chez les Toussian, dont certains pensent que la culture du rônier remonte chez eux à la même époque que chez les Gouin, car les superficies de leurs rôneraies sont similaires. Le rônier était sacré chez eux et intervenait habituellement dans l'initiation au Do (Coulibaly, 2017 : 46). Les Sèmè (ou Siamou), culturellement proches des Toussian, pratiquaient également un usage rituel du rônier. Certes, le premier rônier observé à Orodara, encore montré de nos jours, proviendrait d'une déjection d'éléphant. Les premières rôneraies auraient toutefois été mises en place avec des graines données par les Turka de Moussodougou (à 25 km d'Orodara) avant l'adoption du Do (première moitié du XIXe siècle). Une exploitation de vin de rônier chez des Bobo-Fing (appelés aujourd'hui « Bobo ») dans le cercle de Bobo-Dioulasso a été signalée dans les années 1910 par le missionnaire Lesourd (Le Clairvoyant, 1931).

Les prémices des techniques d'exploitation et d'utilisation du rônier (la sève)

Telle l'origine du végétal, l'acquisition de la technique d'extraction de la sève est un mystère pour la plupart des personnes interrogées, y compris les Karaboro. Certaines étayent la thèse selon laquelle les savoir-faire relevant du vin ont été conçus et améliorés par leurs aïeux en faisant remarquer que la technique utilisée par leur groupe ne se rencontre pas dans les pays voisins. Dans la plupart des pays ouest-africains, et pour tous les palmiers dont on fait du vin, on procède en effet à l'ablation totale du seul et unique bourgeon terminal, ce qui entraîne presque toujours la mort du pied exploité (Mialhe, 1973 ; Vuattoux, 1968). Dans l'ouest du Burkina Faso, l'ablation du bourgeon reste partielle, ce qui permet au pied de survivre (Bismuth et Ménage, 1961). Ce procédé d'extraction de vin, non létal, semble propre aux sociétés burkinabè (avec quelques variantes, notamment relatives aux outils utilisés).

Bien que *B. akeassii* ait de nombreux usages, il a été adopté surtout pour ses usages alimentaires, et c'est la sève (vin) qui a d'abord motivé son adoption dans

la zone. Les autres usages ne se sont greffés que par la suite. Dès les premières décennies du XIXe siècle, la culture du rônier et les procédés d'extraction de la sève se répandent chez les Tiéfo, Jula, Senoufo, Warra. Les techniques, notamment d'extraction de la sève et de vannerie, ont été transmises aux Sèmè par les Turka. Chez les Karaboro et Turka, les futurs exploitants étaient initiés aux principes de l'extraction de la sève dès leur plus jeune âge. D'anciens extracteurs karaboro nous ont affirmé avoir commencé à s'exercer sur de jeunes pieds dès 7 ans. Selon eux, entre 1940 et 1985, l'extraction de la sève a été un métier noble et très convoité. Pour l'apprendre, les gens venaient de loin et bravaient les brousses infestées d'hyènes et de lions. En général, il n'y avait pas de compensation matérielle ni financière, mais l'apprenti était encouragé par quelques litres de vin. Les astuces pour disposer d'un meilleur vin étaient révélées plus ou moins complètement, selon l'origine de « l'élève », racontent d'anciens extracteurs karaboro et turka. Ainsi, beaucoup de nouveaux extracteurs ignoraient que l'ajout de racines d'une autre plante à la sève fraîchement collectée pouvait rehausser le goût du vin… Le partage de savoir-faire n'a pas été que local. Les Karaboro et Turka font ainsi état, entre les années 1950 et 1970, de nombreux déplacements d'extracteurs expérimentés (contre des récompenses le plus souvent pécuniaires) vers la Côte d'Ivoire et surtout le Sénégal, où l'on ne savait pas « saigner » les rôniers sans les faire mourir. Des migrations saisonnières depuis Banfora vers le Sénégal pour la traite de l'arachide semblent avoir également contribué à cette diffusion (Ky-Mamia, 1965).

L'emprise locale des autorités administratives sur la culture du rônier

Les autorités administratives ont influencé la distribution de nombreuses espèces (caïlcédrat, fromager), notamment par une politique de plantation le long des voies de circulation. La culture du rônier a précédé l'arrivée des Français mais, à partir des dernières décennies du XIXe siècle jusqu'à l'indépendance en 1960, les autorités coloniales ont contribué à sa propagation. Les habitants de Gouindougouba (pays gouin) rapportent les récits de leurs parents au sujet de distributions de graines de rônier sous l'égide des autorités administratives coloniales de Soubakaniédougou. Ces dernières chargeaient les autorités coutumières (chefs de canton et de quartiers) de les distribuer à la population. Le commerce du vin, alors principale source de revenus dans les villages, permettait aux habitants de s'acquitter plus facilement du paiement des impôts, et c'est à cette époque que l'espèce a bénéficié des premières mesures de protection. L'État indépendant a maintenu ces mesures après 1960 et encouragé la culture dans d'autres régions. Les rôneraies de Kokologho, Ramongo et Sakoinsé (Centre-Ouest) proviendraient d'une diffusion depuis Banfora à des centaines de kilomètres de là (Yaméogo *et al.*, 2008). Les quelques pieds du parc Bangr-Weogo de Ouagadougou et de ses environs viendraient aussi de là (De Beauminy, 1918). La diffusion serait aussi, dans certains cas, due à des graines entraînées par les eaux et transportées par des animaux (Alexandre,

2002 ; Houndonougbo *et al*., 2017 ; Salako *et al*., 2016). Les rôneraies de *B. akeassii* bordant la rivière Pendjari, à la frontière sud-est du pays, proviendraient ainsi de graines apportées par des éléphants (Gillet, 1985).

La mise en culture du rônier, entre savoir-faire en déperdition et alternative

Les habitants de l'ouest du Burkina ont souligné que la culture du rônier est en pleine mutation du fait de bouleversements sociaux profonds, peut-être irréversibles. Les arboriculteurs s'en désintéressent au fil des années, car sa rentabilité sociale et économique a beaucoup diminué. Comme l'islam qui interdit la consommation du vin a progressé, maintes pratiques traditionnelles impliquant des produits du rônier diminuent, voire disparaissent, une réalité connue depuis longtemps (Koné, 1958). C'est notamment le cas dans le village toussian de Gossiamandara, où les gens renoncent à extraire la sève de peur d'être mal vus. Une forte baisse de la rentabilité économique de l'exploitation du rônier, comparée à d'autres activités toujours plus nombreuses, est également en cause : bien des extracteurs se débarrassent aujourd'hui de leur « gratteur » (principal outil d'extraction). Les jeunes abandonnent l'extraction qu'ils jugent exigeante et peu rentable : il faut préparer chaque pied, puis vider la gourde qui reçoit le liquide trois à quatre fois par jour, et un pied bien entretenu ne peut être exploité plus d'un mois. Nombre d'entre eux se reconvertissent dans la culture maraîchère. De plus en plus de pieds de rônier, inexploités et devenus très hauts, sont facilement déracinés ou cassés lors d'un grand vent. Le désintérêt actuel pour le rônier explique peut-être en partie la faible mémoire historique au sujet de cette espèce.

La plupart des extracteurs de vin rencontrés chez les Karaboro (Tiékouna, Sitiena) sont des Turka venant de Moussoudougou. Détrônant peu à peu les Karaboro, ils se déplacent pour exercer cette activité et tiennent le devant de la scène comme spécialistes. Une évolution est pourtant déjà en cours chez eux aussi, car toutes les sociétés utilisatrices du rônier cessent peu à peu de le planter depuis deux, voire trois générations. Dès lors, la culture du rônier peut-elle être considérée comme toujours d'actualité ? Les gens estiment que la « véritable culture », celle que pratiquaient leurs aïeux, a cessé d'exister. Ainsi, seuls les rares pieds issus d'une régénération naturelle sont encore épargnés ; ils sont parfois encore entretenus à Tiékouna chez les Karaboro. Derniers ennemis en date des rôneraies, déjà fragilisées par l'absence de semis, des lotissements causent leur destruction dans les villages les plus grands (Moussodougou) ou les plus proches des grands axes routiers (Wolokonto) ou des villes (Tiékouna). Les rôneraies sont alors remplacées par des parcelles construites, comme à l'entrée de Tiékouna, où des milliers de pieds ont été coupés pour implanter une cité. Quelques personnes, s'alarmant de la situation précaire des rôneraies, tentent de relancer l'engouement pour la plante en modernisant l'usage. Un natif de la région a ainsi réussi à stabiliser la sève pour mettre le vin en bouteille, à créer une coopérative et à planter un bosquet de rôniers avec le concours

d'extracteurs karaboro de Tiékouna. Chez les Turka de Moussodougou, devant la menace liée au lotissement, certains envisagent de réaliser des plantations dans des champs de brousse éloignés du village. Ces « délocalisations » ne sont toutefois possibles que dans les villages qui ont encore des terres disponibles. Pour les autres, comme Tiékouna et Sitiéna chez les Karaboro, la perplexité règne au sujet de l'avenir de la culture du rônier. Cependant, certains pensent que la fin des rôneraies n'est pas pour demain. Leur optimisme s'appuie sur la forte régénération naturelle qu'on observe par exemple à Fabedougou et Moussodougou, du fait de nombreux fruits non consommés. Le réel défi restera la croissance de ces pieds.

Conclusion et perspectives

Cultivé pour ses multiples usages par de nombreuses sociétés, le rônier *B. akeassii* est un végétal exotique à fort potentiel économique et social dans l'ouest du Burkina Faso. Il aurait été apporté du nord du Ghana, vers le XVe siècle, lors de grandes migrations liées à des conquêtes territoriales. Il se serait ensuite répandu d'une société à l'autre durant des siècles dans l'ouest du Burkina Faso en suivant un itinéraire difficile à retracer. C'est surtout pour mieux faire face aux crises alimentaires qu'il a été adopté au XVIIIe siècle par les Karaboro, premiers détenteurs de sa culture. D'autres sociétés s'y sont ensuite intéressées, également pour un usage alimentaire. Le rônier a ainsi acquis une forte valeur emblématique pour ceux qui ont développé sa culture. De nos jours, les savoir-faire sur la culture du rônier sont toutefois en déperdition. On ne plante ni ne sème plus comme jadis, et le métier d'extracteur de vin n'attire plus les nouvelles générations. L'extension des villages fait peser de fortes menaces sur les rôneraies. Des usages modernes tentent de se faire jour, mais l'accueil que les sociétés urbanisées leur réserveront sera-t-il suffisamment enthousiaste pour que le lien si fort mis en place par les sociétés d'antan avec ce végétal puisse perdurer ?

Remerciements

Cette étude a été soutenue par le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D). Nous sommes très reconnaissants aux sociétés de l'ouest du Burkina Faso ayant généreusement fourni les informations qui font la matière de cette étude, ainsi qu'au Pr Hassan Nacro et au Dr Juhé-Beaulaton qui ont accompagné l'étude par leurs conseils. La lecture du texte par le Dr Jean Boutrais et le Dr Bernard Toutain a grandement contribué à l'améliorer.

Références bibliographiques

Alexandre D.-Y. (éd.), 2002
Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne. IRD Éditions/Karthala, Paris, 220 p.

Aubréville A. (éd.), 1950
Flore forestière soudano-guinéenne. Société d'éditions géographiques maritimes et coloniales, Paris, 523 p.

Bayton Ross P., Ouedraogo A., 2009
Discovering Africa's Newest Palm. *Palms*, 53 (1) : 37-45.

Bégué L., 1937
Contributions à l'étude de la végétation forestière de la Haute Côte d'Ivoire. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture tropicale*, 17 années, n° 185 : 847-849.

Bellouard P., 1950
Le rônier en A.O.F. *Bois et forêts des tropiques*, 14 : 117-126.

Bismuth H., Ménage C., 1961
Les boissons alcooliques en A.O.F. *Bulletin de l'Institut français d'Afrique noire*, XXIII (1-2) : 60-108.

Boffa J. M. (éd.), 2000
Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. *Cahier FAO*, 34, FAO, Rome, 258 p.

Cassou J. L., 1996
*Le parc à rôniers (*Borassus æthiopum *Mart.) de Wolokonto dans le sud-ouest du Burkina Faso : structure, dynamique et usages de la rôneraie*. Mémoire DESS, université Paris-XII, 103 p.

Chevalier A., 1930
Le *Borassus æthiopum* de l'Afrique occidentale et son utilisation. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 10 (108) : 649-655.

Coulibaly J.-B. P., 2017
Archéologie en pays tusian (Burkina Faso) : vestiges anciens et actuels de l'occupation humaine. Thèse de doctorat, université Paris 1 et Ouaga 1 Joseph Ki-Zerbo, 393 p.

De Beauminy A., 1918
Le mossi, au point de vue économique. *Revue de géographie commerciale* : 387-401.

Dransfield J., Uhl W. N., Asmussen C., Baker W., Harley M., Lewis C. (éd.), 2008
Genera Palmarum*: the evolution and classification of palms*. Royal Botanic Gardens, London, Kew, 732 p.

Etou K., 2007
Une théocratie conservatrice le pays des Bè-togo du XVIIe à la fin du XIXe siècle. *Revue du Cames, Nouvelle Série B,* 9 (2) : 305-321.

Gessain M., 1990
Les Tanda de Tombali. Des Bassari en Guinée Bissau. *Journal des africanistes*, 60 (2) : 123-147.

Giffard P. L., 1967
Le palmier ronier (*Borassus æthiopum* Mart.). *Bois et forêts des tropiques*, 116 : 1-45.

Gillet H., 1985
Les palmiers, providence des pays tropicaux. *Histoires naturelles*, 2 (175) : 32-36.

Guinko S., 1984
Végétation de la Haute-Volta, Thèse de doctorat, université de Bordeaux, 318 p.

Guinko S., Ouedraogo A., 2005
Usages et enjeux de conservation du rônier (*Borassus* L.) à l'Est et à l'Ouest du Burkina Faso. *Serein Occasional Paper*, 19 : 1-6.

Hébert J., 1969
Les Gwi et les Turka. *Notes et documents voltaïques*, 3 (1) : 10-51.

Houndonougbo J. S. H., Salako V. K., Idohou R., Azihou F. A., Assogbadjo A. E., Kakaï R. G., 2017
Local perceptions of interactions between elephants and *Borassus æthiopum* Mart. (Arecaceae) in the Pendjari National Park in Benin. *Bois et forêts des tropiques*, 1 (331): 33-43.

IFN (Inventaire forestier national), 2016
Second inventaire forestier national du Burkina Faso. Burkina Faso, 499 p.

Koné L., 1958
La jeunesse rurale de Banfora (Haute-Volta). Devant le dilemme Tradition-Progrès. Mémoire d'étude, École nationale de la France d'Outre-Mer, Paris, 71 p.

Ky-Mamia, 1965
La Haute-Volta exportatrice de main-d'œuvre. *Tiers-Monde*, 6 (24) : 1043-1047.

Le Clairvoyant P. (éd.), 1931
Haute-Volta, mission à Bobo-Dioulasso. Paris, 650 p.

Lorillard M., 2005
Plantations sucrières chez les paysans sénoufo de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso. *Études rurales,* 3 (175-176) : 167-182.

Mialhe P., 1973
Utilisation et vente des sous-produits du rônier de la roneraie du Dallol Maouri. Centre technique forestier tropical, Niamey, 15 p.

Olivier de Sardan J. P., 2003
L'enquête socio-anthropologique de terrain : synthèse méthodologique et recommandations à usage des étudiants. Lasdel, Études et travaux n° 13, Niamey, 58 p.

Salako V. K., Azihou A. F., Assogbadjo A. E., Houéhanou T. D., Kassa B. D., Glèlè Kakaï R. L., 2016
Elephant-induced damage drives spatial isolation of the dioecious palm *Borassus æthiopum* Mart. (Arecaceae) in the Pendjari National Park, Benin. *African Journal of Ecology*, 54 (1) : 9-19.

Tauxier L., 1933
Les Gouin et les Tourouka, résidence de Banfora, cercle de Bobo-Dioulasso. Étude ethnologique, suivie d'un double vocabulaire. *Journal de la société des africanistes*, 1 (3) : 77-128.

Thiombiano A., Kampman D. (éd.), 2010
Biodiversity atlas of West Africa. Volume II Burkina Faso. Biota, Ouagadougou et Frankfurt/Main, 625 p.

Traoré B., 2007
Toponymie et histoire dans l'Ouest du Burkina Faso. *Journal des africanistes*, 77 (1) : 75-111.

Vuattoux R., 1968
Le peuplement du palmier rônier (*Borassus æthiopum*) d'une savane de Côte d'Ivoire. *Annales de l'université d'Abidjan,* Série E (1) : 5-138.

Yaméogo J., Belem, Ouédraogo M., Bayala J., Ouédraogo B. M., Guinko S., 2008
Uses and commercialization of *Borassus akeassii* Bayton, Ouédraogo, Guinko non-wood timber products in South-Western Burkina Faso, West Africa. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 12 (1) : 47-55.

Chapitre 6

Perception paysanne des espèces ligneuses alimentaires dans la réduction de la malnutrition au Mali

Amadou Malé Kouyate
IER, Mali

Ismaïla Diarra
IER, Mali

Siaka Drissa Traoré
IER, Mali

Amadé Ouedraogo
Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso

Introduction

Au Mali, la majorité des populations ont difficilement accès aux aliments. Ainsi, la prévalence de la malnutrition chronique est considérée comme une contrainte importante au développement économique, notamment dans la région de Sikasso où elle atteint 31,7 % de la population (Instat, 2019) en dépit de la hausse de la production alimentaire régionale. C'est le paradoxe de Sikasso : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas à bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs (Dury et Bocoum, 2012) ? Dans ce contexte, exploiter le potentiel de production des produits forestiers non ligneux pourrait constituer une opportunité pour accroître la disponibilité d'aliments hautement nutritifs et à faibles coûts. La contribution des aliments forestiers à la sécurité alimentaire et à une meilleure nutrition reste inexploitée (Vinceti *et al.*, 2013). En outre, une bonne compréhension du milieu constitue la base de toute activité forestière durable (Sorg, 2000). Ainsi, cette étude a eu pour objectif de connaître la perception paysanne sur la place des espèces forestières locales dans la réduction de la malnutrition.

Matériels et méthodes

Zone d'étude

Ce travail a été réalisé dans quatre villages, deux par zone agroécologique : dans la zone soudanienne, il s'agit des villages de Sorobasso et de Kalifabougou, et, dans la zone guinéenne, des villages de Kodialan et de Badogo de la région de Sikasso. Ces sites ont été choisis en fonction de leur accessibilité, de la disponibilité des espèces forestières et du niveau élevé de malnutrition de leurs populations.

Le village de Sorobasso est situé entre 12°30 et 12°31 de latitude Nord, entre 5°15 et 5°16 de longitude Ouest, dans le cercle de Koutiala en zone soudanienne. Il reçoit en moyenne 876,60 mm de pluie par an. La température moyenne annuelle y est de 27,2 °C (Traoré *et al*., 2003). Kalifabougou se trouve entre 11°26 et 11°27 de latitude Nord et 5°57 de longitude Ouest, dans le cercle de Sikasso en zone soudanienne. La pluviométrie moyenne annuelle y est de 1 100 mm, avec une température moyenne annuelle de 27,2 °C (Traoré *et al*., 2003). Kodialan se situe entre 11°38 et 11°40 de latitude Nord et 6°56 de longitude Ouest, dans le cercle de Bougouni en zone guinéenne. Il reçoit en moyenne 1 196,98 mm, avec une température moyenne annuelle de 27,5 °C (Traoré *et al*., 2003). Enfin, Badogo est situé entre 11° et 11°01 de latitude Nord et entre 8°11 et 8°13 de longitude Ouest, dans le cercle de Yanfolila en zone guinéenne. La pluviométrie moyenne annuelle y est de 1 200 mm avec une température moyenne annuelle de 28 °C (Traoré *et al*., 2003).

Échantillonnage

Le travail a été réalisé sur la base d'enquêtes ethnobotaniques auprès de 40 personnes (20 hommes, 20 femmes) par village. Ces 160 personnes enquêtées ont été choisies en fonction de leur connaissance avérée des espèces forestières et sur la base du volontariat. Lors de l'assemblée villageoise, l'objet des enquêtes a été largement partagé avec l'ensemble des habitants du village. Les personnes enquêtées étaient âgées de 15 à 75 ans à Kalifabougou, de 16 à 83 ans à Sorobasso, de 27 à 63 ans à Kodialan et de 20 à 60 ans à Badogo. L'appartenance à l'ethnie majoritaire de cet échantillon est variable d'un village à un autre : Bamanan à Kodialan, Fulani à Badogo, Minianka à Sorobasso, Senufo à Kalifabougou.

Conduite des enquêtes

Les enquêtes ont été menées en utilisant un questionnaire préétabli. Les principaux thèmes abordés lors des entretiens individuels étaient les suivants : l'identité de la personne enquêtée, la disponibilité de la ressource, la valeur économique, l'utilité alimentaire, les catégories alimentaires et les formes de consommation des organes comestibles des espèces locales d'arbres et d'arbustes.

Traitement et analyse des données

Le classement des espèces proposées par les communautés locales a été fait sur la base de l'utilité alimentaire, de la valeur économique et de la disponibilité des espèces, suivant la méthode des scores (moyenne des trois catégories).

À partir de ce classement, les cinq espèces forestières les plus prisées des communautés ont été identifiées, ainsi que les deux espèces devant faire l'objet d'études approfondies. Le choix de ces deux espèces (une espèce par zone agroécologique) a été fait sur la base de leur importance nutritionnelle.

Les données d'enquêtes ont été saisies sur Access, exportées sur Excel, puis analysées par la statistique descriptive (fréquence de citation) et par une analyse de variance (Anova).

Résultats

Espèces préférées

Les enquêtes réalisées dans la zone d'étude montrent que les communautés locales utilisent treize espèces forestières dans l'alimentation humaine (tabl. 1). Parmi ces treize espèces, *Borassus æthiopum* Mart. et *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. ont été citées en zone soudanienne seulement, alors que *Lophira lanceolata* Tiegh. ex Keay et *Vitex doniana* Sweet sont spécifiques de la zone guinéenne. Les familles les plus représentées dans les deux zones agroécologiques sont les Fabaceae et les Apocynaceae.

Les cinq espèces préférées des personnes enquêtées sont les suivantes pour la zone soudanienne : *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn., *Adansonia digitata* L., *B. æthiopum* et *Saba senegalensis* (A. D. C.) Pichon. Et pour la zone guinéenne : *P. biglobosa, V. paradoxa, A. digitata, Tamarindus indica* L., *S. senegalensis*.

Il ressort donc que *P. biglobosa, V. paradoxa, S. senegalensis* et *A. digitata,* sont des espèces communes aux deux zones agroécologiques. Parmi ces espèces préférées, *B. æthiopum* (zone soudanienne) et *S. senegalensis* (zone guinéenne) ont été sélectionnées.

Perception paysanne des organes comestibles

L'importance d'une plante alimentaire pour les populations locales peut s'apprécier au regard du nombre d'organes utilisés. Les organes comestibles sont le fruit, la graine ou la feuille (fig. 1). Certaines parties sont comestibles après extraction, ce qui est le cas de l'huile. Leur consommation est variable d'une espèce à une autre. Les fruits les plus consommés sont, par ordre

décroissant, ceux de *P. biglobosa, V. paradoxa, A. digitata, B. æthiopum, S. senegalensis, D. microcarpum, B. ægyptiaca, T. indica, Z. mauritiana, L. microcarpa* K. Krause, *L. heudelotii* et *V. doniana*. Ensuite, on retrouve les huiles de *L. lanceolata* et de *V. paradoxa*. Les graines de *P. biglobosa* et les feuilles d'*A. digitata* sont en dernière position.

Tableau 1
Liste des organes consommés par espèces forestières locales dans la zone d'étude.

Espèces	Organes comestibles
Adansonia digitata	Fruit, feuille
Balanites ægyptiaca	Fruit
Borassus æthiopum	Fruit
Detarium microcarpum	Fruit
Landolphia heudelotii	Fruit
Lannea microcarpa	Fruit
Lophira lanceolata	Graine
Parkia biglobosa	Fruit, graine
Saba senegalensis	Fruit
Tamarindus indica	Fruit
Vitellaria paradoxa	Fruit, noix
Vitex doniana	Fruit
Ziziphus mauritiana	Fruit

Figure 1
Distribution des organes comestibles des espèces forestières locales.

Formes de consommation

Les manières de consommer les espèces forestières locales peuvent être variables suivant les villages, les ethnies, le sexe et l'âge des enquêtés (tabl. 2). Toutefois, l'analyse de variance n'a pas permis de mettre en évidence des différences significatives entre les ethnies (p = 0,291), les villages (p = 0,943), le sexe (p = 0,915) et l'âge (p = 0,910).

Tableau 2
Formes de consommation des espèces forestières locales suivant les villages, les ethnies, le sexe et l'âge des enquêtés.

Formes de consommation	Fréquence de citation (%)			
	Villages	Ethnies	Sexe	Âge moyen
Cru	42	51	50	54
Boisson	26	32	50	33
Sauce	26	26	50	25
Couscous	23	21	50	28
Condiment	36	39	50	45
Ragoût	1	3	50	2
Probabilité	0,943	0,291	0,915	0,910

Catégories alimentaires

Des différences significatives ont été observées entre les ethnies (p = 0,007) et les villages (p = 0,001) concernant les catégories alimentaires auxquelles sont associées les parties comestibles (tabl. 3). Selon 49 % des ethnies interrogées, la partie consommée est utilisée comme substitut du sucre. La même tendance a été observée au niveau des villages (43 %). Cet apport énergétique a été rapporté par d'autres sources (Kalinganire *et al.*, 2005 ; Lamien *et al.*, 2018).

Tableau 3
Catégories alimentaires associées aux parties consommées des espèces forestières locales suivant les villages, les ethnies et l'âge des enquêtés.

Catégories alimentaires	Fréquence de citation (%)		
	Villages	Ethnies	Âge moyen
Acidifiant	29	36	36
Sucre	43	49	51
Épice	15	19	32
Arôme	4	4	9
Probabilité	0,001	0,007	0,914

Discussion

Plusieurs travaux ont identifié *B. æthiopum* et *S. senegalensis* comme des espèces nécessitant des actions prioritaires en termes de conservation durable des ressources génétiques forestières (Maïga, 2001 ; Sigaud et Eyog-Matig, 2001). La forte présence de *P. biglobosa, V. paradoxa* et *A. digitata,* signalée par les communautés locales dans les zones agro-écologiques soudaniennes et guinéennes de la région de Sikasso, est confirmée par d'autres travaux réalisés en Afrique de l'Ouest (Bonkoungou *et al*., 1993 ; Sidibé, 1996 ; CGIAR, 1997 ; Diop *et al.,* 2005 ; Belem *et al*., 2010 ; Yaméogo *et al*., 2010). La variation de la diversité spécifique entre les deux zones agroécologiques peut être expliquée par les facteurs environnementaux.

D'autres études menées dans la région de Ségou en zone soudanienne du Mali ont montré que les parties comestibles des espèces forestières sont connues des populations (Kuhlman *et al.,* 2010). C'est le cas de *A. digitata* (pour ses feuilles, fruits, pulpe), *P. biglobosa* (pulpe, graines), *T. indica* (feuilles, fruits), *V. paradoxa* (fruits, noix), *D. microcarpum* (fruits) et *S. senegalensis* (fruits). D'autres travaux encore menés au Sahel ont montré que les parties comestibles de ces espèces sont les fruits, les graines, les feuilles, les fleurs, la sève et les exsudats, les tiges, les écorces et les racines (Yaméogo *et al.,* 2010 ; Sidibé *et al.,* 2013 ; Diarra *et al.,* 2016 ; Laminou *et al.,* 2017). Selon Lamien *et al*. (2018), cette diversité des parties comestibles fait de l'arbre un complément nutritionnel de grande importance. Au Niger, il a été estimé que 52 % des espèces ligneuses utilisées en période de soudure produisent des fruits et 30 % des feuilles comestibles (Ali *et al.,* 2016). Les différentes manières de consommer les espèces forestières locales (soit crues, soit dans la préparation de sauces, de couscous, de ragoût, de boisson ou encore comme condiments) sont confirmées par d'autres travaux (Kalinganiré *et al.,* 2005 ; Thiombiano *et al.* 2010).

Conclusion et perspectives

Les enquêtes ont montré que les populations locales de la zone d'étude utilisent les organes de treize espèces forestières locales pour l'alimentation humaine ; les espèces les plus appréciées sont *P. biglobosa, V. paradoxa, A. digitata, B. æthiopum*, *S. senegalensis* et *T. indica*. Ces espèces présentent un fort potentiel pour lutter contre la malnutrition en améliorant la santé nutritionnelle des communautés et leur sécurité alimentaire. En effet, les fruits, graines, noix, ou feuilles de ces espèces sont consommés sous diverses formes. Les espèces forestières locales font ainsi partie intégrante des stratégies de sécurité alimentaire des communautés locales au Mali. Il importe de promouvoir ces stratégies et de pérenniser la disponibilité de ces espèces forestières, à moindre coût pour les populations maliennes, afin d'assurer leur mieux-être et leur développement.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Agropolis Fondation, Fondazione Cariplo et la Fondation Daniel et Nina Carasso (n° AF 1507-143) pour leur appui financier, ainsi que le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour l'organisation du symposium qui s'est tenu en visioconférence du 7 au 8 avril 2021. Ils remercient vivement les communautés locales des villages d'étude pour leur disponibilité.

Références bibliographiques

Ali A., Abdou L., Douma S., Mahamane A., Saadou M., 2016
Les ligneux alimentaires de soudure dans les communes rurales de Tamou et Tondikiwindi. Diversité et structure des populations. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 31 : 4889-4900.

Belem O. M., Yaméogo J., Guinko S., 2010
Les ligneux alimentaires des galeries forestières de la réserve de biosphère de la Mare aux Hippopotames, Burkina Faso. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 4 (1) : 10-17.

Bonkoungou E. G., Ayuk A. T., Zoungrana I., 1993
Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest. Symposium international, Ouagadougou. 226 p.

CGIAR, 1997
Mali: trees for food security. *CGIAR Newsletters*, 4 (3) : 1-14.

Diarra N., Togola A., Denou A., Willcox M., Daou C., Diallo D., 2016
Étude ethnobotanique des plantes alimentaires utilisées en période de soudure dans les régions Sud du Mali. *International Journal of Biological* and *Chemical* Sciences, 10 (1) : 184-197.

Diop M., Kaya B., Niang A., Olivier A., 2005
La biodiversité des espèces ligneuses : diversité arborée et unités de gestion du terroir dans le Cercle de Ségou, au Mali. *Icraf Working Paper,* 10, 26 p.

Dury S., Bocoum I., 2012
Le « paradoxe » de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs ? *Cahiers Agriculture,* 21 (5) : 324-336.

Instat, 2019
Enquête nationale nutritionnelle et de mortalité rétrospective suivant la méthodologie Smart. Rapport final. Mali, 85 p.

Kalinganiré A., Niang A., Koné B. (éd.), 2005
Domestication des espèces agroforestières au Sahel : situation actuelle et perspectives. ICRAF Working Paper n° 5 : 75-80.

Kuhlman T., Kantougoudiou C., Yago E. L., Michels R., van der Berg J., 2010
Les arbres fruitiers sahéliens dans l'économie rurale. Cas du Burkina Faso et du Mali. Projet KB-01-009-005, Safruit. Bulletin 2010-055. 104 p.

Lamien N., Ouédraogo S. J., Sanogo D., Kouyaté A. M., Tougiani A., Vognan G., Tapsoba D., Parkouda C., Bayala J., 2018
Catalogue régional des arbres et arbustes alimentaires des terroirs sahéliens et soudaniens d'Afrique de l'Ouest : vers une meilleure valorisation de leurs potentiels nutritionnels. Institut du Sahel/Cilss, 79 p.

Laminou O., Boubé M., Saley K., Oumarou B. G., Ali M., 2017
Usages socio-économiques des espèces ligneuses au Sahel : cas de Guidan Roumdji au Niger. *European Scientific Journal*, 13 (26) : 356-373.

Maïga A. S., 2001
Situation des ressources génétiques forestières du Mali. Atelier sous-régional FAO/Ipgri/Icraf sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne. Document FGR/9F, FAO, Rome, 13 p.

Sidibé M., 1996
Arbres du terroir pour l'alimentation. Sikasso, Mali. Document de travail n° 1. Série forestière et pastorale, 40 p.

Sidibé M., Cissé M., Kouyaté A. M, Sanou H., 2013
Rapport national sur les ressources génétiques forestières. République du Mali, 134 p.

Sigaud P., Eyog-Matig O., 2001
Situation des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne et nord-soudanienne. Plan d'action sous-régional pour leur conservation et utilisation durable. Document de travail FGR/2F, FAO, Rome, 111 p.

Sorg J. P., 2000
Gestion de l'arbre et de la forêt en Afrique de l'Ouest sèche : la recherche et le développement au service des paysans. Actes de la Société jurassienne d'émulation : 9-25.

Thiombiano D. N. E, Lamien N., Dibong S. D., Boussim I. J., 2010
État des peuplements des espèces ligneuses de soudure des communes rurales de Pobé-Mengao et de Nobéré (Burkina Faso). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 9 (1) : 1104-1116.

Traoré F., Bayoko A., Sanogo B., Diarra B., Konaté M., 2003
Élaboration des scénarios du changement climatique pour le Mali. Ministère de l'Environnement, Mali, 97 p.

Vinceti B., Ickowitz A., Powell B., Kehlenbeck K., Termote C., Cogill B., Hunter D., 2013
La contribution des forêts aux régimes alimentaires durables. Document FGR/9F, FAO, Rome, 13 p.

Yaméogo J., Ouédraogo S. J., Bayala J., Ouédraogo M. B., 2010
Potentialités médicinales et alimentaires de dix-sept espèces ligneuses préférées dans les parcs agroforestiers au Sud-Ouest du Burkina Faso. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 4 (1) : 55-61.

Rôles des collections botaniques

Chapitre 7

Collections de bambous du Viet Nam

Conservation, informatisation et valorisation pour le développement durable

Thi My Hanh Diep
Université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam

Marc Pignal
MNHN, France

Jacques Gurgand
Université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam

Soejatmi Dransfield
Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni

Nguyen Khac Dieu
Université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam

Nguyễn thị Bich Loan
Université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam

Ly Ngoc Sam
ITB, Viet Nam

Régine Vignes-Lebbe
Sorbonne université, France

Introduction

Au Viet Nam, les bambous (Poaceae, sous-famille des Bambusoideae) ont une importance particulière tant au point de vue socioculturel qu'économique. Outre les nombreux usages domestiques et industriels, ils participent à la protection de l'environnement par leurs rôles d'épuration des sols et de fixation du carbone.

La bambouseraie de Phu An Bambou Village, créée en 1999, est l'une des plus importantes collections de bambous *ex situ* d'Asie, avec actuellement près de 1 200 touffes de bambous représentant 200 taxons indigènes du Cambodge, du Laos et du Viet Nam. Elle a obtenu en 2010 le prix Équatorial du Programme des Nations unies pour le développement (Pnud) au titre de la protection de la biodiversité. En 2016, la collection a été parrainée par l'association des « Jardins botaniques francophones », une première en Asie.

L'herbier et la conservation des bambous vivants situés au Phu An Bambou Village ont été financés par la Région Rhône-Alpes (France), puis développés

avec le soutien financier et technique du projet « Sud Expert Plantes » (SEP 349), du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) sous le nom de l'appel à projet 4 « Collection des bambous du Viet Nam : appui pour la conservation, l'informatisation et la valorisation » (Colbaciv) et les fonds de recherche de l'université nationale d'Ho Chi Minh Ville qui y a créé son Centre de recherche pour la conservation des ressources naturelles (CRC).

Le projet Colbaciv a pour objectifs la gestion, l'informatisation et la valorisation de ces collections de bambous. Son originalité est d'associer des collections vivantes et sèches, et d'intégrer dans l'informatisation des spécimens, leur géo-référencement et des données morphologiques collectées lors du projet SEP 349. Ce projet vise également le rapatriement, sous forme d'un herbier virtuel, des spécimens de bambous du Viet Nam détenus dans la collection du Muséum national d'histoire naturelle à Paris.

Matériels et méthodes

Matériels

Ce projet concerne :
– la collection vivante de bambous à Lang Tre Phu An représentant 200 taxons du Cambodge, du Laos et du Viet Nam, avec plus de 1 200 touffes ;
– les herbiers de Phu An (PBB) situé à Phu An village, d'Ho Chi Minh Ville (ITB) et de Paris (P). Les herbiers du PBB comprennent des récoltes effectuées lors des prospections du projet Rhône-Alpes, du projet SEP 349 « Bambous d'Indochine » et de l'université nationale du Vietnam (HCMV), soit un total actuel de 4 000 planches comprenant des entrenœuds et des turions (jeunes pousses de bambou). Les 46 récoltes à l'ITB et 256 à Paris (P) sont composées de nombreuses parts portant à près de 1 000 le nombre total de spécimens.

Méthodologies

La conservation de la collection vivante consiste (1) à entretenir régulièrement les touffes par sarclage et éclaircie afin d'éliminer les tiges trop âgées ou mal venues tout en respectant les tiges voisines et (2) à assurer l'arrosage pendant la saison sèche pour prévenir les risques d'incendie.

Les étapes de la mise en conservation des spécimens à l'herbier PBB comprend, après la mise sous presse dès la récolte : le séchage dans une étuve à air pulsé à 40 °C, le traitement au congélateur à -15 °C pendant 15 jours, le montage, l'étiquetage, la pose d'un code-barres et la photographie des planches. La congélation est répétée tous les ans.

L'informatisation des descriptions morphologiques des Bambusoideae à partir des spécimens de la collection de Phu An, est réalisée avec les systèmes de

gestion de bases de connaissances Xper2 (Ung *et al*., 2010) et Xper3 (Vignes-Lebbe *et al*., 2016). Xper2 – version privilégiée au CRC – permet de travailler hors connexion et d'exporter les données nécessaires pour différents outils d'analyse de bases de connaissances afin de comparer les items et générer des diagnoses. Xper3 permet le travail simultané à plusieurs via une connexion internet. Il permet de générer des clés de détermination polytomiques, imprimables et de publier en ligne le contenu de la base de connaissances ainsi qu'une clé interactive dite à accès libre. Xper3 est donc utilisé chaque fois que la collaboration directe est nécessaire. Le transfert de contenu entre les deux versions Xper2-Xper3 s'effectue facilement via l'export-import dans un format d'échange XML selon le standard international pour les échanges de descriptions taxonomiques SDD (Hagedorn *et al.,* 2005).

L'informatisation, c'est-à-dire le transfert des données des étiquettes dans une base de données, a été réalisée via le système Recolnat. L'infrastructure nationale Recolnat, constitue aujourd'hui le réseau de collections naturalistes (www.recolnat.org) dont le réseau botanique (Le Bras *et al.,* 2017). Sa mission est de numériser les collections d'histoire naturelle françaises et de présenter les données de récoltes dans une base de données accessible au public. L'opération a été précédée de la numérisation de l'herbier national entre 2010 et 2013. Recolnat a mis en place des outils de saisie de données sur une base fédérative et un outil de mesure, Annotate, qui permet de travailler à partir des images des spécimens d'herbier, ainsi qu'un site de science participative, les herbonautes (http://lesherbonautes.mnhn.fr). Recolnat a mis à disposition du projet les outils déjà développés et a proposé de former le personnel au Viet Nam à leur utilisation.

Les méthodologies et partenaires sont présentés dans la figure 1.

Figure 1

Institutions et outils informatiques impliqués dans le programme.

Résultats

Préservation et gestion des collections locales vivante et sèche

Afin de lutter contre les incendies et d'assurer le bon développement des bambous dans la collection vivante, des réserves d'eau ont été constituées sur les 4,5 ha de la collection de bambous et alimentant le système d'arrosage et de fertilisation. Ceci a été réalisé avec le soutien de l'université nationale de Ho Chi Minh Ville.

Une partie de la collection vivante a été aménagée pour planter 64 nouveaux taxons en remplacement des bambous détruits par la tempête de 2012. Une nouvelle pépinière de 0,5 ha a été installée pour y multiplier les taxons et enrichir les nouveaux sites sur la route du bambou. Cette « route » est un parcours botanique et culturel élaboré par Thi My Hanh Diep et son équipe, qui relie actuellement les régions inondables de Long An et Dong Thap aux zones arides de Phan Thiet et de Phan Rang, aux Hauts Plateaux (DakNong) et aux minorités ethniques (Sơn La). La « Route du bambou » transmet des messages en lien avec la culture et l'environnement aux paysans qui exposent leur dos au ciel et leur visage à la terre pour nourrir les populations et qui doivent s'adapter aux aléas climatiques ; elle veut rapprocher les scientifiques et les communautés qui dépendent du bambou pour un développement durable et pour le maintien d'un milieu de vie assaini. Une brochure technique de plantation a été rédigée pour les paysans.

La collection sèche est constituée de 4 000 planches d'herbier de PBB à Phu An Bambou Village sont disponibles sur place. Un spécimen, la « part d'herbier », comprend une feuille, feuille de chaume, et une portion de tige avec ses ramifications. La collection vivante de Phu An permet de compléter les données sur les parts manquantes des herbiers (turions, feuilles de chaume).

Globalement, les prospections effectuées lors des différents projets ont permis de nombreuses récoltes :

– projet Rhône-Alpes (2003-2008) : 200 taxons dont 157 toujours vivants dans la collection (1 259 touffes) et 1 243 planches d'herbier ;

– projet SEP 349 (2008-2013) : 163 taxons dont 33 touffes plantées et vivantes, 1 620 planches d'herbier ;

– par HCMV (2016-2019) : 31 taxons dont 16 touffes plantées (13 vivantes), 187 planches d'herbier ;

– projet SEP2D : 64 touffes plantées, 955 planches d'herbier.

Au total, 394 taxons ont été récoltés, 1 369 touffes plantées, 206 bambous vivants mis en collection et 4 000 planches d'herbier réalisées.

Informatisation des descriptions morphologiques des bambous

Base de connaissances Xper 2/Xper 3

Une base de connaissances est constituée par un ensemble de descriptions structurées, comparables entre elles, exprimées selon une terminologie précise. Cette formalisation des descriptions, élaborée lors du projet SEP 349 (Diep Thi *et al*., 2016), s'est poursuivie lors du projet SEP2D toujours dans trois langues (français, vietnamien et anglais).

La base de connaissances actuelle comprend 125 descripteurs. Elle doit encore être simplifiée pour proposer des fiches de de données de terrain plus synthétiques tout en étant efficaces pour différencier les espèces.

La base de connaissances, sous Xper2, est présentée dans la figure 2. Pour chaque bambou de la collection vivante, des photographies illustrent les principales caractéristiques des douze groupes de descripteurs étudiés : rhizome, turion, chaume, nœud, entrenœud, feuille de chaume, limbe, ligule, oreillette, branches, feuilles et fleurs éventuellement (fig. 2, à gauche). La base de connaissances (fig. 2, à droite) se présente comme suit :

– à gauche figurent les différents items de la collection vivante avec leur dénomination vernaculaire. Seuls 108 spécimens y sont inclus par insuffisance des données pour les autres ;

– au centre, les descripteurs, c'est-à-dire les traits morphologiques, ne sont pas toujours indépendants. Des règles de dépendance logique garantissent la cohérence des descriptions au sein du logiciel. Seuls des descripteurs qualitatifs ont été retenus, et une discrétisation en intervalles a été utilisée pour les mesures numériques (par exemple pour le diamètre du chaume, < 5 mm ; 5 à 20 mm ; 2 à 5 cm ; 5 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; > 20 cm) ;

– à droite, sont cochées les valeurs correspondant à chaque item. La terminologie utilisée pour les descripteurs et les états est définie avec précision et documentée avec des textes et des images.

Selon cette terminologie standardisée, tous les items se différencient entre eux et la base de connaissance est complète à plus de 99 %.

Caractères discriminants

Chaque descripteur permet de différencier des couples d'items : c'est le pouvoir discriminant du descripteur. Vingt-et-un caractères permettent de différencier le plus de couples ; ils sont indiqués dans le tableau 1. La colonne de droite indique le nombre de couples d'items qui n'ont pas de valeurs en commun pour le descripteur. Ces descripteurs ont en moyenne cinq états ou valeurs possibles, contre 3,8 pour l'ensemble des 125 descripteurs.

Figure 2

Descripteurs et visualisation de la base de connaissances dans le logiciel Xper2 (à droite) : 21 caractères permettent de différencier le plus grand nombre de couples.

Tableau 1
Les 21 caractères les plus discriminants.

Descripteurs	Nombre d'états ou valeurs	Nombre de couples discriminés
Caractéristiques de la ligule interne	8	4 768
Ornements de la ligule interne	8	4 599
Épaisseur et texture de la gaine de la feuille de chaume à mi-chaume	4	4 167
Présence de poils sur la gaine du turion	5	4 156
Visibilité des nervures	4	3 900
Développement des branches	5	3 879
Ciliature des oreillettes	5	3 859
Présence et répartition des poils sur la surface ventrale du limbe	5	3 840
Présence d'un pseudo rhizome à l'insertion des branches	3	3 729
Couleur de base de la gaine du turion	2	3 679
Caractéristiques de la zone G	6	3 665
Diamètre du chaume à mi-chaume	6	3 545
Orientation des limbes au-dessus du turion	4	3 523
Cannelures longitudinales sur les entrenœuds	5	3 500
Forme de la ligule interne	5	3 473
Présence de poils sur la surface dorsale de la gaine de la feuille de chaume	5	3 467
Forme du limbe de la feuille de chaume	5	3 446
Épaisseur du diaphragme à mi-chaume	4	3 432
Ciliature des oreillettes foliaires	5	3 429
Taille du chaume	6	3 401
Surface des entrenœuds	6	3 398

L'analyse de la base de connaissances a permis de rechercher un sous-ensemble minimal de descripteurs suffisant pour différencier tous les items entre eux et proposer ainsi des fiches de collecte et de reconnaissance sur le terrain, limitées à ce petit nombre de descripteurs.

Clé des genres

Une base de connaissances réduite à la description des genres présents à Phu An a été construite pour proposer une clé informatisée des genres. Celle-ci est consultable en ligne pour la version interactive. La base de connaissances permet aussi de générer une version imprimable (fig. 3).

Figure 3
Capture d'écran de la clé informatisée des genres.

Informatisation des herbiers au Viet Nam et en France

Classer et ranger les herbiers

Les herbiers de bambous de Phu An (4 000 parts) ont été classés par ordre alphabétique de genre, après montage et étiquetage standardisé pour faciliter leur informatisation. Pour chaque taxon, après le classement, les parts d'une même récolte sont en général regroupées (feuilles, feuilles de chaume, branches, tiges). Les herbiers sont scannés et informatisés selon les standards internationaux et en utilisant les bases Recolnat et Sonnerat au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN).

Les herbiers conservés en France et, en particulier, à l'herbier national du Muséum de Paris, représentent les collections historiques constituées au XIXe et au début du XXe siècle par les grands récolteurs qu'étaient Auguste Chevalier, Eugène Poilane, Louis Pierre, Albert Pételot, Edmond-Gustave Camus. Leurs riches collections ont été photographiées à l'occasion de la numérisation de l'herbier de 2010 à 2013.

La valeur ajoutée de ce projet est de situer et géoréférencer les spécimens historiques de l'herbier, également sources d'informations, pour pouvoir retourner dans les localités mentionnées afin d'enrichir la collection vivante.

Constitution d'un herbier virtuel issu de ces collections

Une mission de science participative a permis de trier les images des spécimens du Viet Nam destinés à être numérisées. Les images sélectionnées seront géoréférencées à distance en utilisant l'interface de saisie mise à disposition par Recolnat. L'interface de saisie est dotée d'un système de géoréférencement à partir de cartes. L'objectif est ensuite un rapatriement sous forme d'un herbier virtuel bien documenté utilisable via l'interface Annotate de Recolnat.

Sonnerat : base de données des herbiers

Les herbiers sont informatisés dans la base Sonnerat du MNHN et les données peuvent être exportées par une API (Application Programming Interface) dans le format DarwinCore, développé par le Biodiversity Information Standards (TDWG). Ce standard permet une interopérabilité entre les bases de données, en particulier à destination du Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

Productions pédagogiques

Parcours pédagogiques

Des parcours pédagogiques ont été balisés dans le jardin en tenant compte du niveau de connaissance des visiteurs, afin de les sensibiliser au mieux à la biodiversité des bambous tout en les entraînant à les reconnaître.

Un parcours de découverte circule sous un tunnel construit par des bambous en forme de V et dans lequel les explorateurs peuvent découvrir dans des fenêtres creusées dans la terre les différents types de rhizomes et les morceaux de tiges cachés avec des questions auxquelles il leur faudra répondre dans le parcours suivant.

Un autre parcours destiné davantage à l'observation propose dix stations tout en faisant le tour complet de la collection vivante, avec cependant des raccourcis permettant d'adapter la durée du circuit au public. Chaque station propose l'identification d'un bambou ayant des caractères morphologiques remarquables, bien observables, et facilement comparables avec ceux de spécimens d'autres espèces situés à proximité. Les points d'arrêt aux stations sont aménagés avec des espaces permettant des pauses en groupe et l'installation de panneaux pédagogiques. Des clés mécaniques sont proposées pour le parcours d'observations « Qui suis-je ? » dédié au plus jeune public. Deux prototypes de ces clés, de

type « fiches perforées », ont été conçus : un prototype en bambou conçu par J. Gurgand et un prototype conçu par R. Vignes et réalisé en carton. Ils ont été testés sur le terrain avec des enfants de six à dix ans. La version « clé informatisée des genres » est proposée au grand public (sans connaissance botanique préalable) mais aussi aux naturalistes, étudiants ou professionnels, dans le parcours « diversité des bambous ». Cette clé est proposée en trois langues et accompagnée de fiches illustrées pour une quinzaine d'espèces observables dans la collection. Enfin, la station finale du parcours permet aux visiteurs, surtout aux enfants de classes vertes, de présenter leurs résultats d'observation en répondant à des questions cachées dans le parcours de découverte.

Production de documentation

Le programme a aussi été l'occasion d'éditer des brochures, des panneaux pédagogiques et de concevoir des scénarios pour les parcours de découverte. Toutes les activités de recherche, développement, formation et éducation des enfants de Phu An Bambou village sont présentées sur un site web dédié (http://www.ecobambou-phuan.org).

Conclusion et perspectives

Les herbiers ont été classés et informatisés dans l'herbier du PBB. Les bases de données sur les bambous sont intégrées dans la base Sonnerat et disponibles sur les sites du MNHN, de l'infrastructure Recolnat et du GBIF. Par ailleurs, un descriptif de la collection figurera sur le site de Recolnat (https://www.recolnat.org/fr/nos-partenaires). Les données concernant les caractères et les descriptifs sont disponibles sur le site du Laboratoire d'informatique et de systématique (LIS).

La collection vivante à Phu An a été restaurée, et une pépinière de 0,5 ha a été créée pour produire les plantules destinées aux sites de la route du bambou.

Le parcours pédagogique a permis aux enfants de découvrir les bambous pour leur qualité de protection de l'environnement, de construction verte ou de décoration.

Ces travaux ont permis de former un ingénieur de construction de l'université polytechnique de HCMV, sur les mesures des caractéristiques physiques des bambous, et deux ingénieurs forestiers sur l'utilisation ornementale et paysagère des bambous, et d'encourager deux thèses en cours sur la taxonomie des bambous épineux et sur les autres bambous.

Grâce au projet SEP2D, le projet de la Grande muraille verte a été lancé dans la zone aride de Phan Rang, financé par l'université nationale de HCMV et des mécènes vietnamiens, pour lutter contre la désertification.

Il est prévu de prolonger la « Route du bambou » vers les zones particulièrement exposées aux risques liés aux changement climatique.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le projet SEP2D et l'université nationale de Ho Chi Minh du Viet Nam qui ont financé cette recherche dans le cadre du projet GEN (QGB11.DA01/2021).

Références bibliographiques

Diep Thi M. H., Gurgand J., Vignes-Lebbe R., Nguyen H. P., Nguyen B. L., Haevermans T., 2016
Bambous d'Indochine : descripteurs morphologiques pour l'identification. Science and Technology Committee, Viet Nam National University of Ho Chi Minh city, 269 p.

Hagedorn G., Thiele K., Morris R., Heidorn P. B., 2005
Structured descriptive data (SDD) w3c-xml-schema, Version 1.0. Biodiversity information standards (TDWG).
http://www.tdwg.org/standards/116

Le Bras G., Pignal M., Jeanson M. L., Muller S., Aupic C., Carré B., Flament G., Gaudeul M., Goncalves C., Invernón V. R., Jabbour F., Lerat E., Lowry P. P., Offroy B., Pimparé E. P., Poncy O., Rouhan G., Haevermans T., 2017
The French *Muséum national d'histoire naturelle* vascular plant herbarium collection dataset. *Scientific Data,* 4 : 170016.
https://doi.org/10.1038/sdata.2017.16

Pignal M., Romaniuc-Neto S., Souza S. D., Chagnoux S., Canhos D. A. L., 2013
Saint-Hilaire virtual herbarium, a new upgradeable tool to study Brazilian botany. *Adansonia,* 35 (1) : 7-18.
https://doi.org/10.5252/

Ung V., Dubus G., Zaragüeta-Bagils R., Vignes-Lebbe R., 2010
Xper²: introducing e-Taxonomy. *Bioinformatics*, 26 (5) : 703-704.

Vignes -Lebbe R., Chesselet P., Diep Thi M. H., 2016
"Xper3: new tools for collaborating, training and transmitting knowledge on botanical phenotypes". *In* Rakotoarisoa N. R., Blackmore S., Riera B. (eds) : *Botanists of the twenty-first century: roles, challenges and opportunities*, Unesco, Paris : 228-239.

Chapitre 8

Le jardin botanique Roland Portères en Guinée

Réhabilitation, valorisation et diversité floristique

Mohamed Diabaté
Irag, Guinée

Moussa Diabaté
Irag, Guinée

Hubert de Foresta
IRD, France

Jean-Pierre Labouisse
Cirad, France

Introduction

La République de Guinée possède l'une des flores vasculaires les plus riches d'Afrique. Sa position phytogéographique particulière dans le domaine haut-guinéen de la région guinéo-congolaise, explique sa grande richesse spécifique avec environ 3 000 espèces d'angiospermes (1/9e de la flore générale de l'Afrique tropicale selon Lisowski, 2009), et 79 taxons endémiques. La Guinée compte quatre régions naturelles dont la Guinée forestière située au sud du pays ; cette région abrite parmi les dernières reliques de forêts denses humides de l'Afrique de l'Ouest à Ziama, Diécké, Bero, au mont Nimba (réserve naturelle intégrale de la biosphère depuis 1981, inscrite au Patrimoine mondial de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture, Unesco) et au Pic de Fon.

Dans le massif du Ziama, une station expérimentale pour le caféier et le quinquina a été créée en 1939 près du village de Sérédou, dirigée par Roland Portères, un agronome et ethnobotaniste français (Tourte, 2005). Sous sa direction, de 1939 à 1945, un jardin botanique a été établi à proximité de la station dans le but d'étudier, de multiplier et de conserver les espèces végétales utiles de Guinée.

Le Centre régional de recherche agronomique pour la Guinée forestière (CRRA-GF) est actuellement en charge de la gestion de ce jardin botanique ; ce centre fait partie du dispositif expérimental de l'Institut de recherche agronomique de Guinée (Irag). Le CRRA-GF abrite aussi l'herbier Serg (selon le code de l'*Index Herbariorum* pour herbier Sérédou-Guinée), qui renferme 18 750 spécimens d'herbier d'angiospermes représentant 2 859 espèces, 350 spécimens de champignons, une banque de graines comprenant 937 spécimens de plantes savanicoles et forestières et 800 photographies numérisées d'échantillons d'espèces ayant servi pour la première fois à la description des espèces (types) de Guinée.

Le jardin botanique, dénommé « Jardin botanique Roland Portères », est issu d'un fragment de la forêt relique de Ziama fortement enrichi d'essences variées, locales ou exotiques, introduites depuis sa création. Cependant, en l'absence de financements dédiés, il n'a pas été entretenu depuis de nombreuses années. Il n'existe pas de carte de situation ni d'inventaire floristique des espèces qui composent ses différentes strates végétales, et le jardin ne fait l'objet d'aucune valorisation. Pour remédier à cette situation, un projet de réhabilitation du jardin, le projet « JaBo-ReVa », a été soumis à l'appel à projets « Collections sèches et vivantes » du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D). Grace à la contribution de ce programme et aux moyens fournis par le CRRA de Sérédou, des opérations d'entretien et d'aménagement du jardin, d'inventaire des espèces végétales, d'enrichissement avec des espèces rares ou menacées de Guinée, et, enfin, de valorisation de cette ressource au niveau local à des fins pédagogiques ou scientifiques ont pu être menées entre 2017 et 2020. Les méthodes et les moyens mis en œuvre ainsi que les principaux résultats obtenus sont présentés dans ce chapitre.

Matériels et méthodes

Site de l'étude

Parmi les sept préfectures de Guinée forestière, celle de Macenta couvre une superficie de 7 053 km² et a une population de 280 994 habitants (RNPH, 2014). Cette préfecture compte quinze communes rurales dont Sérédou, notre zone d'étude, qui comptait 20 435 habitants en 2014. Cette zone abrite la plus grande réserve forestière de Guinée, le massif de Ziama, d'une superficie de 119 019 ha (fig. 1).

La préfecture de Macenta est caractérisée par un climat de type tropical humide avec une précipitation annuelle estimée entre 2 000 et 2 500 mm, une saison sèche de courte durée (décembre à février) et une température moyenne de 24 °C (Boulvert, 1992).

D'une superficie de 7,16 ha, le jardin botanique Roland Portères (latitude 8°22'46''N, longitude 9°17'31''O) est situé à proximité du village de Sérédou à 34 km au sud de la préfecture de Macenta et à 1 km de la forêt dense humide tropicale de Ziama (fig. 2).

Figure 1
Carte de la localisation de la biosphère de Ziama.
Source : Bort *et al.* (2003).

Figure 2
Localisation du jardin botanique Roland Portères à Sérédou en Guinée forestière.
Source : fond d'image *Google Earth.*

Restauration et signalisation du jardin botanique

Pour la réhabilitation du jardin, les opérations suivantes ont été réalisées durant les trois années du projet « JaBo-ReVa » (2017 à 2020) : nettoyage du site et délimitation du périmètre du jardin (2 865 m), confection de 400 étiquettes métalliques de signalisation des espèces (fig. 3) et mise en place d'une pancarte de signalisation du jardin botanique (fig. 4).

Figure 3
Exemple d'étiquette de signalisation des espèces végétales du jardin botanique Roland Portères.
© M. Diabaté, 2019.

Figure 4
Pancarte de signalisation du jardin botanique Roland Portères.
© M. Diabaté, 2019.

Inventaire floristique et cartographie

L'inventaire floristique a été réalisé grâce à la méthode des relevés de surface décrite par Hall *et al*. (1981) ; celle-ci consiste à recenser toutes les espèces végétales rencontrées sur des superficies définies. Pour cette étude, cent-treize blocs rectangulaires de surface de 300 m² (20 m x 1 m) ont été installés, et toutes les espèces d'arbres, d'arbustes, d'arbrisseaux, de lianes et d'herbes, ont été recensées à l'intérieur de chaque bloc.

Les coordonnées terrestres des espèces végétales ont été enregistrées grâce à un GPS Garmin 12. La carte physique du jardin et celle de répartition des différentes espèces végétales à l'intérieur des 113 blocs ont été produites avec le logiciel de système d'information géographique (SIG) Mapinfo 8.5.

Les espèces végétales qui n'ont pas pu être identifiées sur le terrain ont été récoltées et déterminées à l'aide des ouvrages botaniques de Berhaut (1975), d'Arbonnier (2002), de Diabaté (2004) et de Lisowski (2009), et par comparaison avec les spécimens de l'herbier Serg.

Étude génétique des caféiers *Coffea canephora* (Robusta)

Le jardin botanique contient plusieurs vieux pieds de caféiers de l'espèce *Coffea canephora* (appelé communément Robusta) dont l'origine et la nature génétique étaient inconnues. Le génotypage de 23 pieds de caféiers a été réalisé dans le cadre du projet Fogefo-Plus (Forêts de guinée forestière-Plantes utiles) du programme SEP2D, mené parallèlement au projet de réhabilitation du jardin (Labouisse *et al.*, 2021).

Enrichissement du jardin botanique

Une pépinière forestière de 3 500 m² a été établie afin de recevoir du matériel végétal d'espèces rares ou endémiques et d'espèces utiles, et ainsi démarrer la production de plants destinés à enrichir la diversité des espèces conservées. Le matériel est issu de collectes réalisées au cours de différentes missions dans les forêts classées de Guinée forestière (Ziama, Diécké et Bero) et lors du projet Fogefo-Plus qui s'est attaché à inventorier les principales espèces utilisées par les populations rurales de Guinée forestière à des fins diverses (alimentaire, médicinale, artisanale, etc.).

La production et l'acclimatation des plants forestiers ont été réalisées à partir de graines, sauvageons ou boutures dans des sachets polyéthylènesremplis de terreau forestier. Pour certaines graines d'espèces à péricarpe dur, comme *Garcinia kola* (Clusiaceae)*, Ongokea gore* (Olacaceae) et autres, des traitements spécifiques avec trempage dans l'acide sulfurique dilué à 50 % durant trois jours au maximum ont dû être appliqués afin d'obtenir un taux de germination élevé de 75 %.

Résultats

Inventaire floristique

Au total, 454 espèces ont été recensées, réparties en 75 familles de plantes à fleurs (tabl. 1) dont les principales sont les suivantes : Rubiaceae (45 espèces), Euphorbiaceae (27 espèces), Mimosaceae (23 espèces), Fabaceae (22 espèces), Caesalpiniaceae (20 espèces), Apocynaceae (17 espèces) et Sapotaceae (15 espèces). On note aussi la présence de quatre espèces de ptéridophytes.

Tableau 1
Liste des 75 familles des espèces végétales recensées dans le jardin botanique Roland Portères et ordonnée selon le nombre d'espèces par famille (mise à jour : nov. 2020).

Familles	Nombre d'espèces par famille
Rubiaceae	45
Euphorbiaceae	27
Mimosaceae	23
Fabaceae	22
Caesalpiniaceae	20
Apocynaceae	17
Sapotaceae	15
Poaceae	14
Verbenaceae	13
Moraceae	12
Araceae, Meliaceae	11
Annonaceae	10
Combretaceae, Melastomataceae, Ochnaceae, Sapindaceae	9
Asteraceae, Marantaceae	8
Commelinaceae, Convolvulaceae, Orchidaceae, Sterculiaceae	7
Celastraceae, Violaceae	6
Acanthacceae, Agavaceae, Anacardiaceae, Clusiaceae, Cyperaceae, Malvaceae, Passifloraceae	5
Connaraceae, Olacaceae, Tiliaceae, Zingiberaceae	4
Amaranthaceae, Bignoniaceae, Bombacaceae, Burseraceae, Cecropiaceae, Dryopteridaceae, Lauraceae, Lecythidaceae, Solanaceae, Vitaceae	3
Arecaceae, Chrysobalanaceae, Dioscoreaceae, Flacourtiaceae, Loganiaceae, Myrtaceae, Piperaceae, Ulmaceae	2
Ampelidaceae, Apiaceae, Aristolochiaceae, Dilleniaceae, Ebenaceae, Erythroxylaceae, Icacinaceae, Lamiaceae, Liliaceae, Linaceae, Loranthaceae, Magnoliaceae, Melianthaceae, Moringaceae, Myristicaceae, Pandaceae, Pedaliaceae, Polygalaceae, Rutaceae, Simaroubaceae, Smilacaceae	1

Les espèces recensées sont réparties dans les sept types morphologiques suivants : 160 espèces d'arbres, 92 espèces d'arbustes, 13 espèces d'arbustes lianescents, 24 espèces d'arbrisseaux, 85 espèces d'herbes, 73 espèces de lianes et 7 espèces épiphytes.

Parmi les 454 espèces végétales du jardin botanique, quatorze sont signalées comme « vulnérables » (VU) selon la liste rouge des espèces menacées de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN, 2020). Une espèce, *Pterocarpus erinaceus,* est classée « en danger » (EN) (tabl. 2). Seize espèces sont signalées comme des espèces végétales menacées dans la *Monographie nationale de la diversité biologique en Guinée* (Bah *et al.*, 1997).

Tableau 2
Espèces du jardin botanique prioritaires pour la conservation selon les critères de l'UICN (2020) et la Monographie nationale sur la diversité biologique *(MNDB) (Bah et al., 1997).*

Nom scientifique	Famille	Type végétal	UICN*	MNDB
Afzelia africana Smith ex Pers.	Caesalpinaceae	Arbre	VU	
Albizia ferruginea (Guill. & Perr.) Benth.	Mimosaceae	Arbre	VU	
Antrocaryon micraster A. Chev. & Guillaum.	Anacardiaceae	Arbre	VU	
Combretum micrantum G. Don	Combretaceae	Arbuste		Menacée
Cryptosepalum tetraphyllum (Hook. f.) Benth.	Caesalpinaceae	Arbre	VU	
Entandrophragma angolensis (Welw.) D. C.	Meliaceae	Arbre	VU	Menacée
Entandrophragma candollei Harms	Meliaceae	Arbre	VU	Menacée
Entandrophragma cylindricum (Sprague) Sprague	Meliaceae	Arbre	VU	Menacée
Entandrophragma utile (Dawe & Sprague) Sprague	Meliaceae	Arbre	VU	Menacée
Garcinia kola Heckel	Clusiaceae	Arbre	VU	
Guarea cedrata (A. Chev.) Pellegr.	Meliaceae	Arbre	VU	
Hallea stipulosa (D. C.) Leroy	Rubiaceae	Arbre		Menacée
Harungana madacascariensis Lam. ex. Poir.	Clusiaceae	Arbre		Menacée
Heritiera utilis (Sprague) Sprague	Sterculiaceae	Arbre	VU	
Lovoa trichiloides Harms	Meliaceae	Arbre	VU	
Milicia excelsa (Welw.) C. C. Berg.	Moraceae	Arbre	VU	Menacée
Paullinia pinnata L.	Sapindaceae	Liane		Menacée
Pterocarpus erinaceus Poir.	Fabaceae	Arbre	EN	Menacée
Senna podocarpa (Guill. & Perr.)	Caesalpiniaceae	Arbrisseau		Menacée
Spondias monbin L.	Anacardiaceae	Arbre		Menacée
Terminalia ivorensis A. Chev.	Combretaceae	Arbre	VU	Menacée
Terminalia superba Engl. & Diels.	Combretaceae	Arbre		Menacée
Triplochiton scleroxylon K. Schum.	Sterculiaceae	Arbre		Menacée
Xylopia æthiopica (Dunal) A. Rich.	Annonaceae	Arbre		Menacée

*VU : vulnérable, EN : en danger.

Étude génétique des caféiers Robusta

L'étude de génotypage avec des marqueurs ADN (microsatellites) a mis en évidence que, sur les 23 caféiers étudiés, quatre font partie du groupe des *C. canephora* cv. Gamé (fig. 5). Cette variété endémique de la région de Macenta a été mise en culture à partir des années 1930 à l'initiative du chef de canton Gamé Guilavogui, et elle jouissait autrefois d'une grande réputation de qualité (Portères, 1962). Largement cultivée localement au milieu du XXe siècle, elle est à présent extrêmement rare dans les plantations, principalement en raison de son hybridation avec des caféiers introduits d'Afrique centrale. Parmi les autres caféiers étudiés, dix-sept sont des hybrides de *C. canephora* endémiques et introduits et deux sont des Robusta d'Afrique centrale. Les détails de l'étude sont rapportées dans ce présent ouvrage (Labouisse *et al.*).

Figure 5
Coffea canephora *cv. Gamé dans le jardin botanique.*
Cultivar endémique de la région de Macenta.
© M. Diabaté, 2019.

Enrichissement du jardin botanique

De 2018 à 2020, grâce à la pépinière forestière expérimentale installée dans le jardin, 1 679 plants forestiers composés de 66 espèces de forêt dense humide et de savane réparties dans 25 familles, ont été produits et introduits dans le jardin botanique (tabl. 3).

Par ailleurs, une ombrière a été installée dans le jardin pour abriter 452 échantillons vivants d'orchidées collectés dans les différentes forêts de Guinée (Ziama, Nimba, Diecké et Pic de Fon) et du Liberia (Wologizi, Wonegizi, fleuve Mano et Gola) grâce au soutien de l'université libre de Bruxelles (ULB).

Tableau 3
Liste des espèces végétales introduites dans le jardin botanique à partir de 2018.

Nom scientifique	Famille	Région d'origine	Nombre de plants
Acacia mangium	Mimosaceae	Australie Asie du Sud-Est	12
Adansonia digitata	Bombacaceae	Afrique tropicale sèche	50
Afgelia africana	Caesalpiniaceae		12
Albizia adianthifolia	Mimosaceae		50
Albizia ferruginea	Mimosaceae		50
Anninkia polycarpa	Annonaceae		18
Annona muricata	Annonaceae		30
Antiaris africana	Moraceae		45
Antiaris africana	Moraceae		50
Blighia sapida	Sapindaceae		30
Blighia sp.	Sapindaceae		20
Bussea occidentalis	Caesalpiniaceae		23
Coffea canephora cv. Gamé	Rubiaceae		12
Coffea canephora (autres)	Rubiaceae		10
Carapa procera	Meliaceae		45
Cedrela odorata	Meliaceae		20
Ceiba pentandra	Bombacaceae		30
Chrysophyllum sp.	Sapotaceae		5
Chrysophyllum ubanguiense	Sapotaceae		20
Cinamomum zeylanicum	Lauraceae	Sri Lanka	50
Cleistopholis patens	Annonaceae		10
Codieum variegatum	Euphorbiaceae		200
Cola sp.	Sterculiaceae		5
Combretodendrum africanum	Lecythidaceae		20
Coula edulis	Olacaceae		7
Danielia thurifera	Caesalpiniaceae		12
Delonix regia	Caesalpiniaceae		30
Détarium heudelotianum	Caesalpiniaceae		35
Detarium microcarpum	Caesalpiniaceae		20
Detarium senegalensis	Caesalpiniaceae		30
Discoglypremna caloneura	Euphorbiceae		13
Entada manni	Mimosacea		9
Entandrophragma angolensis	Meliaceae		15

[…]

[…]

Nom scientifique	Famille	Région d'origine	Nombre de plants
Entandrophragma candolei	Meliaceae		20
Entandrophragma cylindricum	Meliaceae		30
Funtumia africana	Apocynaceae		36
Garcinia kola	Clusiaceae		30
Gmelina arborea	Verbenaceae		6
Khaya ivorensis	Meliaceae		10
Lophira lanceolata	Ochnaceae		11
Lovoa trichilioides	Meliaceae		30
Markhamia tomentose	Bignoniaceae		9
Moringa oleifera	Moringaceae		5
Ongokea gore	Olacaceae		50
Pachystela brevipes	Sapotaceae		7
Paramacrolobium coeruleum	Fabaceae		34
Parinaria excelsa	Chrysobalanaceae		8
Pentaclethra macrophylla	Mimosaceae		34
Picralima nitida	Apocynaceae		5
Pitpadeniastrum africanum	Mimosaceae		23
Pseudospondias microcapa	Anacardiaceae		14
Pterocarpus erinaceus	Fabaceae		20
Pycnanthus angolensis	Myristicaceae		29
Richinodendron heudelotii	Sterculiaceae		6
Securidaca longepedunculata	Polygalaceae		14
Spondias mombin	Anacardiaceae	Amérique du Sud Antilles	20
Tectona grandis	Verbenaceae		10
Terminalia ivorensis	Combretaceae		45
Terminalia superba	Combretaceae		50
Treculia africana	Moraceae		35
Trichilia heudelotii	Meliaceae		23
Uapaca heudelotii	Euphorbiaceae		20
Vitellaria paradoxa	Sapotaceae		10
Vitex sp.	Verbenaceae		9
Xylopia æthiopica	Annonaceae		35
Xylopia quintasii	Annonaceae		3

Documentation du jardin botanique

Une base de données floristiques a été créée sous Excel, récapitulant l'ensemble des informations sur les espèces végétales du jardin (numéro du bloc, nom de l'espèce, coordonnées de position de la plante, etc.). Ceci a permis de créer un jeu de 16 068 données sur les espèces végétales du jardin botanique qui a été déposé sur le portail du Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org).

Valorisation et formation

Cinq-mille plants forestiers ont pu être produits par la pépinière pour diffusion auprès des populations rurales et urbaines locales et ont généré quelques ressources propres pour le CRRA-GF.

Cette opération de réhabilitation a aussi été l'occasion de former près de 100 étudiants aux différentes techniques d'aménagement et d'identification des espèces végétales (20 étudiants de l'université de N'Zérékoré, 30 de l'Institut supérieur agronomique et vétérinaire de Faranah, et 43 élèves de l'École nationale d'agriculture et d'élevage de Macenta).

Conclusion et perspectives

Grâce aux moyens apportés par le projet « JaBo-Reva » du programme SEP2D ainsi qu'à la contribution du CRRA-GF, le jardin botanique a pu être réhabilité avec succès en quelques années. La détermination précise des taxons qu'il contient a mis en évidence sa grande richesse floristique. Grâce à des collectes de matériel végétal réalisées en Guinée forestière, le nombre d'espèces qu'il abrite a augmenté (de 360 à 454 espèces). Parmi celles-ci, une attention particulière a été portée aux espèces prioritaires pour la conservation au niveau international, selon les critères de l'UICN, et au niveau national, selon la *Monographie nationale de la diversité biologique* en République de Guinée.

La collecte et la mise en collection *ex situ,* dans la station de Sérédou, des caféiers endémiques identifiés lors du projet Fogefo-Plus constituent une première mesure de sauvegarde de cette ressource à des fins de conservation, mais aussi d'utilisation dans un futur programme d'amélioration génétique du caféier Robusta.

Le jardin botanique Roland Portères est redevenu un centre patrimonial et mémoriel, dédié à la valorisation de la diversité floristique en Guinée. L'exploitation des données recueillies va se poursuivre pendant plusieurs années. L'information sur le jardin et l'accueil de visiteurs nationaux et internationaux seront développés avec pour objectif d'en faire un lieu de formation et de recherche sur la botanique forestière.

Remerciements

Les auteurs remercient les animateurs du programme SEP2D pour leur contribution à la réalisation de ce projet, et, tout particulièrement, le docteur Yao Konan, pour sa participation au suivi de ce projet en Afrique de l'Ouest, ainsi que la direction du Centre régional de recherche agronomique de Sérédou pour son appui administratif.

Références bibliographiques

Arbonnier M., 2002
Arbres, arbustes et lianes des zone sèches de l'Afrique de l'Ouest. Cirad, MNHN, Montpellier, Paris, 573 p.

Bah M., Thiam A., Keita A., Sylla S., Barry M. H., Lauriault J., 1997
Monographie nationale sur la diversité biologique. Ministère des travaux publics et de l'environnement, Direction nationale de l'environnement, Conakry, 146 p.

Berhaut J., 1975
Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones. Tome 4 : Ficoïdées à légumineuses. Gouvernement du Sénégal, Dakar, 625 p.

Boulvert, 1992
Eléments d'atlas climatologique de la région guinéenne et péri-guinéenne. Orstom, Bondy, 16 p.

Bort V, Konomou M. F, Camara A. A., 2003
SIG-Guinfor. Système d'information géographique sur la Guinée forestière (Environnement et réfugiés-Analyse spatiale-Aide à la décision). Cirad, Montpellier, 1 CD-Rom.

Diabaté M., 2004
Guide de détermination des principales espèces légumineuses de Guinée. Mémoire de fin d'études. Engref, Montpellier, 152 p.

Hall J. B., Swaine M. D., 1981
Distribution of vascular plants in tropical rainforest: forest végétation in Ghana. Springer, The Hague, Netherlands, 383 p.

IUCN, 2020
The IUCN Red list of threatened species. Version 2020-3. https://www.iucnredlist.org. Consultée le 25 fév. 2021.

Labouisse J.-P., Diabaté M., Koné F., Rivallan R., Diabaté M., Foresta H. (de), Haba O. O., Leroy T., 2021
« Les caféiers robusta endémiques de Guinée : une ressource rare et menacée ». *In* ce volume.

Lisowski S., 2009
Flore (angiospermes) de la République de Guinée. 1re partie (texte). Jardin botanique national de Belgique, Meise, 517 p.

Portères R., 1962
Caféiers de la République de Guinée. *Café Cacao Thé,* 6 (1) : 3-18.

RNPH, 2014
Recensement national de la population et de l'habitat. Institut national de la statistique, Conakry. https://population.insguinee.org/resultat/

Tourte R., 2005
Histoire de la recherche agricole en Afrique tropicale francophone. Vol. V. Le temps des stations et de la mise en valeur 1918-1940/1945. FAO, Rome, 656 p.

Chapitre 9

Connaissance et conservation des plantes sauvages au Burkina Faso

Contribution de l'herbier du Centre national de semences forestières

Lassina Sanou
CNSF, Burkina Faso

Lassina Traoré
Université Norbert Zongo, Burkina Faso

Sibidou Sina
CNSF, Burkina Faso

Bassirou Belem
CNSF, Burkina Faso

Moussa Ouédraogo
CNSF, Burkina Faso

Moctar Sacandé
FAO, Italie

Ténipagba Ouali
Ministère de l'Environnement, de l'Économie verte et du Changement climatique, Burkina Faso

Introduction

Parmi les actions entreprises au Burkina Faso en matière de connaissance et de gestion de la biodiversité, la création d'herbiers est notable. Ainsi, aux côtés de l'herbier national du Burkina (HNBU), deux autres herbiers ont vu le jour dans le pays : celui du Centre national de semences forestières (CNSF) et celui de l'université de Ouagadougou Joseph Ki Zerbo (OUA). En plus de la conservation de la diversité végétale, ces herbiers jouent un rôle fondamental en matière d'éducation environnementale et de recherche scientifique. Dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique (CDB) et de sa stratégie mondiale pour la conservation des plantes, les États signataires ont l'obligation de connaître de façon précise la biodiversité de leur pays (Thiombiano *et al*., 2012). Par conséquent, les herbiers nationaux de la plupart des pays signataires de la CDB ont été enrichis par de nouvelles collections d'espèces végétales.

Le catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso (Thiombiano *et al.,* 2012) comporte 2 067 espèces végétales, ce qui représente une augmentation de 70 % par rapport à celui établi par Lebrun *et al.* en 1991. Cependant, depuis 1991, aucune étude n'a été réalisée sur l'ensemble des trois herbiers du Burkina Faso (HNBU, CNSF et OUA). En effet, la version actualisée du catalogue établie par Thiombiano *et al.* (2012) n'a pas pris en compte les espèces des herbiers du CNSF et de HNBU. Selon Thiers (2016), l'*Index Herbariorum* contient uniquement l'herbier OUA avec ses 12 000 spécimens. C'est dans ce contexte que cette étude a été réalisée afin de comparer les données de ces trois herbiers, entre elles puis avec celles issues des travaux de Thiombiano *et al*. (2012).

Matériels et méthodes

Présentation du CNSF et du RBG de Kew

Le CNSF est un institut de recherche et développement du ministère de l'Environnement, de l'Économie verte et du Changement climatique du Burkina Faso. Ses missions comprennent la production et la distribution de semences forestières et la contribution à la mise en œuvre de programmes nationaux de recherche forestières.

Le Royal Botanic Gardens (RBG), situé à Kew au Royaume-Uni, a pour objectifs, à travers le projet « Millennium Seed Bank Partnership » (MSBP)[1] au Burkina Faso (MSB-P), de protéger plus de 24 000 espèces végétales de l'extinction et de sécuriser l'avenir des plantes à fleurs natives dans le monde. Pour atteindre ces objectifs, en collaboration avec ses partenaires, RBG devait collecter et conserver 10 % de la flore à graines du monde à l'horizon 2010, principalement dans les zones sèches.

Les trois herbiers du Burkina Faso

Le Burkina Faso dispose de trois herbiers : l'herbier national, l'herbier de l'université Joseph Ki-Zerbo et l'herbier du CNSF. Les enseignants-chercheurs, les chercheurs, les étudiants et les partenaires internationaux sont les principaux contributeurs à l'enrichissement de ces herbiers.

– L'herbier national du Burkina Faso est un héritage de l'Institut fondamental d'Afrique noire (Ifan). Auguste Chevalier fut le premier botaniste à visiter en 1898 la Haute Volta, aujourd'hui Burkina Faso. Cet herbier est devenu

1 Le projet MSBP est un projet international de conservation des graines de plantes sauvages, coordonné par les jardins botaniques royaux de Kew. Son objectif principal est de collecter et de conserver les semences et les échantillons d'herbier de bonne qualité ainsi que la recherche commune dans le domaine de la conservation des semences et la taxonomie, et le renforcement des capacités scientifiques et techniques du personnel des intitutions partenaires.

aujourd'hui celui du Centre national de la recherche scientifique et technologique (CNRST) du Burkina Faso, localisé à Ouagadougou. Il compte à ce jour 35 000 spécimens.

– L'herbier de l'université de Ouagadougou a été créé en 1975 par le professeur Sita Guinko lors de ses travaux de thèse. À ce jour, l'herbier comporte 20 000 spécimens.

– L'idée de la création de l'herbier du CNSF est née en 1992 par feu Raymond Balima, cadre au sein du service d'Amélioration génétique des plantes. Cet herbier a été mis en place en 1996 par Lassina Sanou, inspecteur des Eaux et Forêts après un stage au Sénégal sur les techniques d'herbier. À ce jour, l'herbier est riche de 15 000 spécimens.

Les ressources nomenclaturales utilisées pour comparer les listes floristiques issues des différents herbiers sont (1) African Plants Database (version 3.3.3), base de données sur les plantes d'Afrique et de Madagascar qui fournit les informations suivantes : noms, synonymie, distribution, notes écologiques (www.villege.ch/musinfo/bd/cjb/africa/) et (2) The International Plants Names Index (www2.archivists.org/groups/standards-committee/the-international-plant-names-index-ipni).

Présentation du milieu naturel

Les collections proviennent des quatre secteurs phytogéographiques du Burkina Faso (Fontès et Guinko, 1995) : le Sahel strict, le sub-Sahel, le nord-soudanien et le sud-soudanien. La pluviométrie croît du nord au sud, avec de fortes variations saisonnières se traduisant par des sécheresses ou des inondations prolongées certaines années, dont les fréquences augmentent. Le régime de la mousson apporte la plus grande partie des pluies. En saison sèche, le pays est soumis au régime de l'Harmattan. Les caractéristiques de chaque secteur phytogéographique sont présentées dans le tableau 1.

La distribution des récoltes dans les quatre secteurs phytogéographiques sur le territoire national est présenté dans la figure 1.

Missions de prospection botanique

Les missions de prospection botanique, de collecte des semences et des spécimens d'herbier ont été préparées en amont de la sortie sur le terrain. À cet effet, un calendrier a été établi sur la base des informations relatives aux périodes de maturité des fruits en fonction des secteurs phytogéographiques et des types biologiques des espèces à collecter. Une liste d'espèces à collecter a été établie en s'appuyant sur les données disponibles concernant la flore du Burkina Faso et sur les guides de collecte réalisés en partenariat avec le RBG de Kew, à partir d'anciens spécimens déposés dans l'herbier de Paris. Les itinéraires et les sites de collecte ont été préalablement indiqués à l'équipe de prospection. Les administrations forestières locales des zones de prospection ont été contactées avant toute sortie sur le terrain.

Tableau 1
Caractéristiques du milieu naturel des zones de récolte.

Secteur phytogéographique	Caractéristiques climatiques	Caractéristiques de la végétation et de la flore
Sahel strict	Pluviométrie moyenne inférieure à 500 mm. Saison pluvieuse : 3 à 4 mois. Températures : forte amplitude annuelle.	Végétation composée de steppes, flore sahélienne, dominée par les épineux comme : *Acacia senegal, Acacia seyal, Acacia raddiana, Balanites ægyptiaca*. Forêts galeries occupées par *Anogeissus leiocarpa*, *Combretum micranthum* et *Piliostigma reticulatum*.
Sub-Sahel	Pluviométrie moyenne comprise entre 500 et 600 mm. Saison pluvieuse : 4 à 5 mois. Températures : forte amplitude.	Essentiellement constituée de steppes et fourrés plus ou moins denses. Flore marquée par la présence de *Lannea microcarpa, Anogeissus leiocarpa, Combretum micranthum, Pterocarpus lucens* et *Combretum glutinosum*.
Nord-soudanien	Pluviométrie varie de 800 à 900 mm. Saison sèche longue : 6 à 7 mois.	Différents types de formations avec une légère prédominance des savanes arbustives et arborées présentant de paysages agrestes dominés par les essences protégées : *Adansonia digitata*, *Faidherbia albida, Lannea microcarpa, Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa* (Boussim, 2010). La flore herbacée y est diversifiée avec des taxons annuels dominants, comme *Andropogon pseudapricus* dans les formations savanicoles. Les pérennes sont rares et peu abondantes. *Andropogon gayanus* est toujours présent dans les formations.
Sud-soudanien	Pluviométrie annuelle : entre 900 et 1 100 mm. Saison sèche court : 5 à 6 mois.	Essentiellement dominée par les savanes boisées et les forêts claires. La présence d'*Isoberlinia doka* caractérise ce secteur (Boussim, 2010). Nombreuses forêts galeries à végétation constituée d'espèces guinéennes, comme *Antiaris africana*, *Berlinia grandiflora*, *Carapa procera*, *Cola laurifolia*, *Dialium guineense*, *Milicia exelsa, Syzygium guineense* et *Voacanga africana* (Sambaré *et al.*, 2010, 2011). La flore ligneuse le plus remarquable comporte *Acacia sieberiana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Diospyros mespiliformis*, etc. (Bognounou *et al.*, 2009).

Figure 1

Distribution spatiale des récoltes sur le territoire national du Burkina Faso.

Source : Guinko (1984).

Pour chaque espèce rencontrée, 2 000 graines à maturité ont été récoltées, ainsi que quatre spécimens d'herbier fertiles. En outre, au cours des prospections, des espèces qui ne figuraient pas dans les guides de collecte ont été récoltées de façon opportuniste.

Contribution de l'herbier du CNSF à la connaissance de la flore indigène

Afin de mieux mettre en évidence la contribution de l'herbier du CNSF à la connaissance de la flore indigène du Burkina Faso, nous avons :

– étudié le référentiel taxonomique des trois herbiers afin de les harmoniser et de les mettre à jour, avec l'aide des bases de données existantes en ligne (en particulier African Plants Database) ;

– effectué une comparaison de ces trois listes ;

– identifié les espèces de l'herbier du CNSF qui ne se trouvent pas ni dans l'herbier de l'université Joseph Ki-Zerbo et ni dans l'herbier national du Burkina ;

– proposé une liste globale d'espèces spontanées et sub-spontanées du Burkina Faso qui intègre les informations des trois herbiers.

Résultats

La collection de l'herbier du CNSF

À ce jour, le nombre de spécimens botaniques de cet herbier est de 15 000, dont 13 500 collectés dans le cadre du partenariat avec le RBG. Parmi ces échantillons, 12 000 sont montés, collés, étiquetés et classés dans les armoires de conservation, 2 500 sont montés sans étiquettes et 500 ne sont pas montés. L'antenne IRD de Bobo-Dioulasso a fait don de 800 spécimens d'herbier au CNSF en 2019. Ces échantillons ne sont pas encore montés et sont comptabilisés dans la collection de l'herbier du CNSF.

Richesse des familles botaniques dans l'herbier du CNSF

L'herbier du CNSF renferme 1 343 taxons repartis en 600 genres et 123 familles. Les familles les plus représentées, avec au moins 20 espèces, sont les Poaceae, les Fabaceae-Faboideae, les Cyperaceae, les Rubiaceae, les Asteraceae, les Malvaceae, les Fabaceae-Mimosoideae, les Lamiaceae, les Euphorbiaceae, les Convolvulaceae, les Apocynaceae, les Fabaceae-Cesalpinioideae, les Acanthaceae, les Combretaceae et les Moraceae (tabl. 2).

Tableau 2
Richesse des familles botaniques dans l'herbier du CNSF.

Familles botaniques	Nombre de genres	Nombre d'espèces	Nombre de specimens d'herbier
Poaceae	59	161	2 898
Fabaceae-Faboideae	39	152	2 280
Cyperaceae	19	93	1 674
Rubiaceae	35	71	497
Asteraceae	43	65	650
Malvaceae	23	58	580
Fabaceae-Mimosoideae	12	41	287
Lamiaceae	21	39	273
Euphorbiaceae	15	33	495
Convolvulaceae	7	31	217
Apocynaceae	21	29	290
Fabaceae-Caesalpinioideae	17	29	435
Acanthaceae	13	27	405
Combretaceae	5	25	375
Moraceae	5	24	192
Amaranthaceae	10	18	126

Familles botaniques	Nombre de genres	Nombre d'espèces	Nombre de specimens d'herbier
Phyllanthaceae	7	18	270
Commelinaceae	5	18	324
Vitaceae	4	18	180
Asparagaceae	7	17	100
Cucurbitaceae	8	16	288
Capparaceae	6	16	112
Boraginaceae	6	11	77
Lythraceae	4	11	77
Orobanchaceae	7	10	50
Annonaceae	6	9	63
Anacardiaceae	5	9	63
Araceae	5	9	45
Orchidaceae	5	9	45
Solanaceae	4	9	72
Plantaginaceae	3	9	45
Dioscoreaceae	1	9	45
Onagraceae	1	9	45
Eriocaulaceae	1	8	40
Sapindaceae	6	7	35
Arecaceae	5	7	35
Gentianaceae	5	7	35
Melastomataceae	5	7	35
Celastraceae	4	7	35
Meliaceae	6	6	30
Sapotaceae	5	6	30
Amaryllidaceae	3	6	30
Caryophyllaceae	2	6	30
Verbenaceae	5	5	25
Ochnaceae	3	5	25
Hypericaceae	2	5	25
Loganiaceae	2	5	25
Zingiberaceae	2	5	25
Alismataceae	4	4	20
Bignoniaceae	4	4	20
Burseraceae	3	4	20
Loranthaceae	3	4	20

[…]

[…]

Familles botaniques	Nombre de genres	Nombre d'espèces	Nombre de specimens d'herbier
Pedaliaceae	3	4	20
Iridaceae	2	4	20
Molluginaceae	2	4	20
Lentibulariaceae	1	4	20
Oleaceae	1	4	20
Rhamnaceae	1	4	20
Pontederiaceae	4	3	18
Marantaceae	3	3	21
Nyctaginaceae	3	3	45
Brassicaceae	2	3	15
Chrysobalanaceae	2	3	21
Clusiaceae	2	3	15
Colchicaceae	2	3	15
Polygalaceae	2	3	45
Rutaceae	2	3	15
Costaceae	1	3	15
Ebenaceae	1	3	30
Portulacaceae	1	3	24
Polygonaceae	4	2	16
Apiaceae	2	2	10
Campanulaceae	2	2	10
Cannabaceae	2	2	20
Malpighiaceae	2	2	10
Myrtaceae	2	2	30
Nymphaeaceae	2	2	16
Passifloraceae	2	2	10
Salicaceae	2	2	10
Zygophyllaceae	2	2	30
Bixaceae	1	2	10
Crassulaceae	1	2	10
Elatinaceae	1	2	10
Hydroleaceae	1	2	10
Limeaceae	1	2	10
Marsileaceae	1	2	10
Menispermaceae	1	2	10
Pandanaceae	1	2	10

Familles botaniques	Nombre de genres	Nombre d'espèces	Nombre de specimens d'herbier
Vahliaceae	1	2	10
Olacaceae	3	1	5
Aizoaceae	1	1	5
Araliaceae	1	1	5
Aristolochiaceae	1	1	5
Connaraceae	1	1	5
Dilleniaceae	1	1	5
Dipterocarpaceae	1	1	5
Droseraceae	1	1	5
Erythroxylaceae	1	1	5
Gisekiaceae	1	1	5
Hydrocharitaceae	1	1	5
Hypoxidaceae	1	1	5
Lauraceae	1	1	5
Martyniaceae	1	1	5
Menyanthaceae	1	1	5
Ophioglossaceae	1	1	10
Opiliaceae	1	1	15
Osmundaceae	1	1	5
Oxalidaceae	1	1	5
Papaveraceae	1	1	10
Piperaceae	1	1	7
Primulaceae	1	1	6
Proteaceae	1	1	5
Ranunculaceae	1	1	5
Rhizophoraceae	1	1	5
Salvadoraceae	1	1	5
Simaroubaceae	1	1	8
Smilacaceae	1	1	10
Sphenocleaceae	1	1	5
Taccaceae	1	1	5
Talinaceae	1	1	5
Typhaceae	1	1	15
Xanthorrhoeaceae	1	1	13
Ximeniaceae	1	1	20
Total	**600**	**1 343**	**15 000**

Les espèces présentes dans l'herbier ont été assignées à huit types biologiques selon la classification définie par Raunkiaer, généralement utilisée dans l'étude de la végétation en Afrique de l'Ouest (Guinko, 1984 ; Sinsin, 1993). Les espèces les plus représentées sont des thérophytes (37,16 %) et phanérophytes (36,63 %), suivis des chaméphytes (8,41 %), des hémicrytophytes (7,07 %), des géophytes (6,48 %) ; les autres types biologiques (hélophytes, hydrophytes et épiphytes) sont faiblement représentés dans l'herbier (fig. 2).

Figure 2
Proportion des types biologiques dans la base de données de l'herbier du CNSF.

Mise en commun des données des trois herbiers

L'analyse des bases de données des trois herbiers fait ressortir que 164 espèces sont uniquement représentées dans l'herbier du CNSF. Par ailleurs, 197 espèces se trouvent uniquement dans l'herbier national. Ces 361 espèces ne sont pas mentionnées dans le *Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso* (Thiombiano *et al.*, 2012). Ces nouveaux taxons de la flore spontanée et sub-spontanée du Burkina Faso se répartissent en 262 genres et 81 familles. Ces 361 espèces nouvelles s'ajoutent aux 1 942 espèces déjà répertoriées dans le *Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso* (Thiombiano *et al.,* 2012), ce qui équivaut à une contribution de 10,14 % pour l'herbier national du Burkina et de 8,44 % pour celui du CNSF. Avec cet ajout, le nombre total de plantes vasculaires du pays monte à 2 303 espèces, soit un enrichissement global de 18,59 %. La totalité de ces espèces se répartissent en 834 genres et 155 familles. Cette liste consolidée constitue la situation actualisée des espèces de flore spontanée et sub-spontanée (espèces indigènes) du Burkina Faso (sous réserve de la prise en compte des autres données auxquelles nous n'avons pas eu accès).

Environ 15 000 spécimens d'échantillons d'herbier ont été collectés. Le poids des graines des espèces collectées et stockées en chambre froide est de 2 tonnes,

soit plus de 60 millions de graines d'espèces indigènes disponibles pour soutenir les actions de restauration du milieu naturel au Burkina Faso.

Discussion

Distribution spatiale des récoltes sur le territoire national

La majorité des collections d'herbiers et de semences ont été réalisées dans les secteurs phytogéographiques sud- et nord-soudanien ; les secteurs phytogéographiques sahélien strict et sub-sahélien ont fait l'objet de moins de récoltes. L'extrême-est du Burkina Faso, situé dans le secteur nord-soudanien, n'a pas été suffisamment prospecté et, par conséquent, les collections concernant cette zone sont quasi inexistantes.

Les collections les plus riches concernent ainsi les parties ouest et sud du secteur sud-soudanien. Ceci est lié à l'importante phytodiversité de cette zone (Bognounou *et al.*, 2009). En outre, la majorité des collections sont basées sur des guides de collecte élaborés à partir d'anciennes collections réalisées à la période coloniale et précoloniale (Chevallier, 1910-1914).

Composition floristique de l'herbier du CNSF

La collection de l'herbier du CNSF, depuis sa création jusqu'à nos jours (en prenant en compte les 15 années de partenariat avec le RBG de Kew), est composée de 1 343 espèces reparties en 123 familles et 600 genres. Les familles les plus représentées sont les Poaceae (12 %) et les Fabaceae-Faboideae (11 %). Cette dominance pourrait s'expliquer par le fait que les Poaceae sont mieux adaptées aux conditions climatiques et se propagent plus facilement du fait d'avantages métaboliques. Les Fabaceae-Faboideae, quant à elles, sont des légumineuses profitant de leur symbiose avec les rhizobiums capables de fixer l'azote dans les nodules racinaires (Thiombiano et Dorothea, 2010 ; Ouali, 2018) ; elles se multiplient facilement dans la nature par rapport à d'autres familles botaniques. Les thérophytes et les phanérophytes sont les deux types biologiques les plus représentés parmi les huit types existants dans les collections (tous deux ~ 37 %). Certains auteurs indiquent que la flore vasculaire des régions tropicales est toujours dominée par les thérophytes et les phanérophytes (Zizka *et al.,* 2015).

Contribution de l'herbier du CNSF à la connaissance de la flore indigène

L'analyse des bases de données des trois herbiers indique que les collections de l'herbier du CNSF représentent environ 69,30 % de la flore indigène répertoriée au Burkina Faso. La comparaison de la liste cumulée des espèces des deux

herbiers (HNBU et OUA) avec celles de l'herbier du CNSF a permis d'identifier 164 nouvelles espèces dans l'herbier du CNSF réparties dans 129 genres et 44 familles botaniques. Une centaine de ces espèces sont rares ou en voie de disparition (Thiombiano et Dorothea, 2010), ce qui justifie la mise en œuvre du projet « Millennium Seed Bank Partnership » (MSBP) au Burkina Faso. Les graines de ces espèces sont conservées dans les chambres froides du CNSF avec des duplicatas au MSBP au Royaume-Uni.

Situation actuelle des espèces spontanées et sub-spontanées

En prenant en compte les 164 nouvelles espèces répertoriées dans l'herbier du CNSF, et celles de l'herbier national du HNBU (197 espèces), ainsi que celles du catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso, il existe au total 2 304 espèces spontanées et sub-spontanées au Burkina Faso, réparties en 834 genres et 155 familles. Avant notre étude, le catalogue actualisé des plantes vasculaires du Burkina Faso indiquait 1 942 espèces spontanées et sub-spontanées et cette nouvelle étude l'a enrichi de 18,59 %. Au vu de ces résultats, nous constatons que des efforts ont été consentis par les différents herbiers en matière de connaissance et de conservation *ex situ* de la phytodiversité du Burkina Faso. Par ailleurs, certaines des nouvelles espèces présentes dans l'herbier du CNSF sont particulièrement rares. Il s'agit d'*Entada mannii* (Oliv.) Tisser (Fabaceae-Mimosoideae), de *Morinda geminata* D. C. (Rubiaceae) (fig. 3), de *Spathodea campanulata* P. Beauv. (Bignoniaceae) (fig. 4) et de *Morus mesozygia* Stapf. (Moraceae).

Figure 3
Morinda geminata *D. C. (Rubiaceae).*
Espèce rare rencontrée dans la zone de Niankorodougou, Leraba, Burkina Faso.

Figure 4a et b
Spathodea campanulata *P. Beauv.*
Espèce rare rencontrée dans la zone de Soubakagnadougou, Comoé, Burkina Faso.

Conclusion

Les herbiers du Burkina Faso permettent la conservation *ex situ* des plantes sauvages et jouent un rôle important dans la connaissance de la flore du pays, et ce afin de répondre aux objectifs de la Convention sur la diversité biologique que le pays a ratifiée en septembre 1993. La comparaison des herbiers du Burkina Faso a permis de répertorier 164 espèces nouvelles pour le Burkina Faso, réparties en 129 genres et 44 familles, dans les seules collections de l'herbier du CNSF. En outre, 197 espèces reparties en 169 genres et 67 familles sont spécifiques de l'herbier national du Burkina (HNBU) et sont absentes des deux autres herbiers (CNSF et OUA). L'herbier OUA, quant à lui, inclut 824 espèces absentes de l'herbier du CNSF, reparties en 389 genres et 113 familles, et 929 espèces absentes de l'HNBU, reparties en 453 genres et 115 familles.

De nouveaux taxons ont été identifiés dans l'herbier du CNSF et celui du HNBU, ce qui a permis d'actualiser la liste des espèces spontanées et sub-spontanées de la flore du Burkina Faso et de souligner la contribution de l'herbier du CNSF à la connaissance de cette flore (de 8,44 %). La liste ainsi actualisée inclut 2 304 espèces reparties en 834 genres et 155 familles, soit un accroissement de 15,66 % grâce à la contribution de l'herbier du CNSF et de l'herbier national. L'apport de ces deux herbiers à la connaissance de la phytodiversité du pays est important et souligne la nécessité d'une mise en réseau des informations des différents instituts botaniques du pays.

Remerciements

Pour leur soutien constant au partenariat entre le Centre national de semences forestières (CNSF) au Burkina Faso et le Royal Gardens Botanic de Kew au Royaume-Uni et à l'élaboration du présent article, nous tenons à remercier le ministère de l'Environnement, de l'Économie verte et du Changement climatique du Burkina Faso, le Dr Paul Smith (actuel secrétaire général du Botanic Gardens Conservation International, BGCI et ancien chef du département de conservation des semences de Kew, Millennium Seed Bank Partnership au Royaume-Uni), le Dr Michiel Van Slageren (ancien International Projects Co-ordinator, Millennium Seed Bank Partnership/Royal Botanic Gardens au Royaume-Uni), le Dr Sidi Sanogo (chercheur en écologie, botanique et physiologie végétale à l'Institut d'économie rurale au Mali) et ses collaborateurs, M. Paulin Koura (responsable de l'herbier du CNRST au Burkina Faso) et le Muséum national d'histoire naturelle de Paris (département de Phanérogamie).

Références bibliographiques

Bognounou F., Thiombiano A., Savadogo P., Boussim J. I., Odem P. C., Guinko S., 2009
Woody vegetation structure and composition at four sites along latitudinal gradient in Western Burkina Faso. *Bois et forêts des tropiques*, 300 (2) : 29-44.

Boussim J. I., 2010
« Les territoires phytogéographiques ». *In* Thiombiano A., Kampmann D. (eds) : *Biodiversity atlas of West Africa*, *Volume II: Burkina Faso* : 152-155.

Chevallier A., 1910 et 1914
Sudania : énumération des plantes récoltées en Afrique tropicale et équatoriale de 1898 à 1910. Liste dressée d'après les déterminations. Challamel, 2 tomes, Paris, 159 p.

Fontès J., Guinko S., 1995
Carte de la végétation et de l'occupation du sol (Burkina Faso). Notice explicative. Laboratoire d'écologie terrestre, Institut de la carte internationale de la végétation. CNRS, université de Toulouse III, France/Institut du développement rural, faculté des Sciences et Techniques, université de Ouagadougou.

Guinko S., 1984
Végétation de la Haute Volta. Thèse de doctorat d'État ès Sciences naturelles, université de Bordeaux III.

Lebrun J. P., Toutain B., Gaston A., Boudet G., 1991
Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso. IEMVT, Maisons Alfort.

Lebrun J. P., Stork A., 2003
Annonaceae-Balanitaceae. *Trop. Afr. Flow. Plants (Ecol. Distr.),* 1 : 778.

MSBP (Millennium Seed Bank Partnership), 2006
Guide de collecte. MSBP, Sussex.

Ouali J. T., 2018
Problématique de gestion et de conservation des herbiers du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude des inspecteurs des Eaux et Forêts Dindéresso, Burkina Faso, 47 p.

Sacandé M., Sanou L., Beentje H. (éd.), 2012
Guide d'identification des arbres du Burkina Faso. Kew Publishing, Kew, 288 p.

Sambaré O., Ouédraogo O., Wittig R., Thiombiano A., 2010
Diversité et écologie des groupements ligneux des formations ripicoles du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). *International journal Biological Chemical Sciences,* 4 (5) : 1782-1800.

Sambaré O., Bognounou F., Wittig R., Thiombiano A., 2011
Woody species composition, diversity and structure of riparian forest of four watercourses types in Burkina Faso. *Journal of Forestry Research*, 22 (2) : 145-158.

Sinsin B., 1993
Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, production et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalalé au Nord-Bénin. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles, département des Sciences agronomiques, Bruxelles.

Thiers B., 2016
Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. http://sweetgum.nybg.org/science/ih/ (last accessed 3 January 2018)

Thiombiano A., Dorothea K. (éd.)., 2010
Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest. Tome II : Burkina Faso. Ouagadougou, Frankfurt/Main, 592 p.

Thiombiano A., Schmidt M., Dressler S., Ouedraogo A., Hahn K., Zizka G., 2012
Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso. *Boissiera*, 65, Genève, 391 p.

Zizka A., Thiombiano A., Dressler S., Nacoulma B. M. I., Ouedraogo A., Ouédraogo I., Ouedraogo O., Zizika G., Hahn K., Schmidt M., 2015
The vascular plant diversity of Burkina Faso (West Africa). A quantitative analysis and implications for conservation. *Candollea*, 70 : 9-20 https://doi.org/10.15553/c2015v701a2

Ressources en ligne

Les ressources en ligne les plus importantes pour la flore du Burkina Faso sont les suivantes :

– African Plants Database (version 3.3.3), base de données des plantes d'Afrique indiquant lesnoms, la synonymie, la distribution et des notes écologiques des plantes d'Afrique et de Madagascar : www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa

– West African Vegetation Database, une base de données de végétation de l'Afrique de l'Ouest incluant de nombreux relevés du Burkina Faso : https://www.gbif.org/fr/dataset/80b9fe97-d586-49e0-bb4b-c3cc0c3212cf

– The International Plants Names Index : https://www2.archivists.org/groups/standards-committee/the-international-plant-names-index-ipni

Chapitre 10

Le Centre national de floristique de Côte d'Ivoire

Valorisation de la biodiversité végétale et développement socio-économique des populations

Koua Serge Béranger N'Goran
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Ouattara Mevanly
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Gouvé Claver Yian
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Zinsi Roseline Gouli Gnanazan
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Konan Yao
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Bi Boli Francis Tra
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Faustine Akossoua Kouassi
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Emma Ablan Ake-Assi
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Djakalia Ouattara
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Marie-Solange Tiébré
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Introduction

La biodiversité regroupe à la fois les différentes espèces et formes de vie (animale, végétale, entomologique et autres) et leur variabilité, c'est-à-dire leur dynamique dans leurs écosystèmes (CDB, 1992). Sa préservation est essentielle pour répondre aux besoins vitaux des hommes et elle constitue également une « assurance-vie » (Ramage, 2011 ; Dilet, 2014). En effet, la biodiversité possède une valeur à la fois économique, sociale, culturelle et esthétique (Maitre d'hôtel et Pelegrin, 2012). La valorisation de la biodiversité est un outil d'aide à la décision visant à orienter la société vers les meilleurs choix en matière

d'exploitation des ressources naturelles et d'utilisation des biens environnementaux fournis par les systèmes naturels (Dilet, 2014).

De nombreux travaux relatifs à la valorisation de la biodiversité mettent en avant les valeurs dites d'usage, c'est-à-dire les services écosystémiques (Dubus-DeWarnaffe et Devillez, 2002 ; Ribière, 2013 ; Somda, 2013). Les services écosystémiques constituent l'ensemble des conditions et des processus à travers lesquels les écosystèmes naturels et les espèces qui y trouvent refuge soutiennent la vie humaine (Constanza *et al*., 1997). Ces services représentent, de façon générale, les bénéfices directs et indirects rendus par les écosystèmes (MEA, 2005). Selon le Millenium Ecosystem Assessement (MEA), les services écosystémiques sont classés en quatre catégories : (1) les services d'approvisionnement qui représentent les produits de récolte (désignés auparavant ressources renouvelables) ; (2) les services de régulation assurés par les écosystèmes (maintien de la qualité de l'air, pollinisation, etc.) ; (3) les services culturels (valeurs culturelles et spirituelles attachées aux écosystèmes) et (4) les services de soutien ou d'appui qui maintiennent la production des trois services précédents. L'étude des services écosystémiques aide à la préservation des écosystèmes et au développement, car elle renvoie aux constituants du bien-être humain que sont la sécurité, les matières de base pour une bonne qualité de vie, la santé, les relations sociales, le tout étant encadré par le principe ultime de « liberté de choix et d'action » (Serpantié *et al*., 2012 ; Balez et Reunkrilerk, 2013). Plusieurs écosystèmes, comme les forêts urbaines, ont fait l'objet d'études écosystémiques (Mehdi, 2010 ; Vroh *et al*., 2014 ; Kouadio, 2016). Il ressort que les nombreux services que fournissent les arbres participent activement à l'amélioration de la qualité environnementale des villes (Kouadio *et al*., 2016 ; Nomel *et al*., 2019). Ces services ont été reliés à l'économie, permettant aujourd'hui une évaluation monétaire des fonctions sociales et environnementales des forêts (Tisserand, 2011 ; Maitre d'hôtel et Pelegrin, 2012).

En Côte d'Ivoire, depuis l'accession à l'indépendance, la dégradation des forêts ivoiriennes s'est accentuée avec l'augmentation du volume des exploitations forestières, provoquant ainsi la disparition de milliers d'hectares de forêts (Ake-Assi, 1998). Estimée à plus de 15 millions d'hectares en 1960, la surface forestière de la Côte d'Ivoire a été réduite à 5 094 452 ha en 2000 puis à 3 401 146 ha en 2015 (Redd^{+}, 2017). Plusieurs solutions ont été proposées pour sauver la flore ivoirienne. Parmi celles-ci, figure la création de huit parcs nationaux, six réserves de faune et de flore et 231 forêts classées (Monza, 1996). Par ailleurs, des structures de recherche dédiées à l'étude de la flore ont été mises en place, comme le jardin botanique de Cocody, créé le 11 juillet 1973 par décret gouvernemental, qui deviendra par la suite le Centre national de floristique (CNF, 1998).

Le CNF est une forêt urbaine qui assure la conservation *in situ* et *ex situ* de la flore ivoirienne. Ce centre abrite des spécimens végétaux vivants de plusieurs pays de la sous-région et du monde. Il abrite également l'herbier national et un

musée botanique. Sa fonction essentielle est de relater l'histoire de la flore ivoirienne (Ake-Assi et Ipou, 2006). Ses missions sont, entre autres, la réalisation d'études botaniques, ethnobotaniques et sur la protection de la flore (CNF, 1998). Le jardin botanique du CNF joue un rôle important au sein de la ville d'Abidjan et rend de nombreux services écosystémiques. Nonobstant, ces services restent encore méconnus des populations et méritent de ce fait d'être valorisés. La présente étude vise à réaliser une synthèse des travaux de recherche menés sur ce patrimoine forestier urbain.

Elle a comme objectif général de valoriser la biodiversité et les services écosystémiques du CNF. De façon spécifique, il s'est agi de (1) évaluer la richesse et la diversité floristique du CNF ; (2) identifier les services écosystémiques rendus par le jardin botanique.

Matériels et méthodes

Site d'étude

L'étude a été réalisée au Centre national de floristique (fig. 1). Celui-ci est situé au sein de l'université Félix Houphouët-Boigny dans la commune de Cocody, entre 3°57 et 3°59 de latitude Nord et entre 5°18 et 5°20 de longitude Ouest. Le CNF couvre une superficie de 10,25 ha et comprend quatre entités : (1) le jardin botanique, composé d'un arboretum de 4,25 ha et d'une jachère d'environ 6 ha, (2) l'herbier national et le musée botanique, lieux de conservation des échantillons d'espèces végétales séchées, (3) la champignonnière qui représente un laboratoire équipé pour la culture de champignons comestibles et (4) l'ombrière, réservée aux différentes expérimentations, notamment aux essais de germination et de production de plants.

Situé dans le district d'Abidjan, le CNF est soumis à un climat de type tropical, caractérisé par quatre saisons (Peel *et al*., 2007). Deux saisons sèches, d'août à septembre et de décembre à mars, et deux saisons des pluies, d'avril à juillet et d'octobre à novembre (Eldin, 1971). Les précipitations annuelles moyennes enregistrées par la station météorologique Sodexam pour la période 2010-2020 sont d'environ de 2 000 mm. La température moyenne annuelle est d'environ 26 °C avec une amplitude de 4,3 °C. Le sol du district d'Abidjan est de type ferrasol (FAO, 2006) caractérisé par un sol sablonneux et ferralitique, fortement désaturé (Perraud, 1971). Le massif forestier appartient au secteur ombrophile du domaine guinéen où la végétation, dominée par la forêt dense humide sempervirente (Guillaumet et Adjanohoun, 1971), est caractérisée par la présence de deux espèces : *Turraeanthus africanus* (Welw. ex C. D. C.) Pellegr. (Meliaceae) et *Heisteria parvifolia* Sm. (Olacaceae) (Mangenot, 1955).

Figure 1
Localisation du site d'étude.

Collecte des données

Pour la réalisation de cette étude, trois approches méthodologiques ont été appliquées. La première a consisté à examiner et analyser les travaux scientifiques (DEA, Masters, littérature grise) effectués au CNF entre 1995 et 2020. Cette période couvre la majorité des études réalisées au CNF. Les travaux dont la thématique répondait aux objectifs de cet article ont été retenus et exploités (Boraud, 1995 ; Koffi, 2009 ; Kpangui, 2010 ; Kouamé, 2013 ; Pitta, 2016 ; Akpro, 2020 ; Koné, 2020).

La deuxième approche a consisté à numériser l'herbier de l'institut et à analyser les données de la biodiversité végétale séchée. Pour la numérisation de l'herbier du CNF, les échantillons ont été sortis des armoires, puis nettoyés à l'aide de pinceaux et comptés. Les armoires de l'herbier, avec leurs colonnes et rangées, ont été codifiées avec les lettres A (armoire), C (colonne) et R (rangées). Par la suite, une identification des spécimens a été réalisée par la codification des enveloppes, des fardes et des planches respectivement par les lettres E, F et P. Cette étape réalisée, les code-barres ont été édités et collés sur les différents spécimens d'herbier. Un classeur Excel a été créé pour collecter les données portées sur les étiquettes d'herbier à savoir la famille, le genre, l'espèce, l'auteur, le numéro d'armoire, la colonne et la rangée, les numéros d'enveloppe, la farde, la planche, le nombre de spécimens, le lieu de récolte, le nom du récolteur, le numéro de récolte, le pays de récolte (fig. 2). Enfin, les échantillons d'herbier ont été scannés et liés à la base de

données créée. Après la saisie des données, une correction taxonomique pour leur validation a été faite à l'aide des logiciels API GBIF, de la base de données des plantes d'Afrique tropicale (www.ville-ge.ch) et des sites en ligne The Plant List (theplantlist.org) et TNRS (tnrs.iplantcollaborative.org). Pour la géolocalisation des espèces, le logiciel Geolocate a été utilisé afin de déterminer les coordonnées géographiques des lieux de récolte portés sur les étiquettes. Concernant la diversité de l'herbier, la collecte de données a porté sur la période, le lieu de récolte des échantillons selon les secteurs phytogéographiques de la Côte d'Ivoire, le nombre de spécimens, le nombre d'occurrence et le nombre d'échantillons scannés.

Figure 2
Différentes étapes de la numérisation de l'herbier du CNF.
© Centre national de floristique.

Enfin, la troisième approche a été le travail de terrain proprement dit au cours duquel un inventaire itinérant a été effectué, afin de compléter la liste générale des espèces inventoriées du jardin botanique du CNF. Pour une meilleure valorisation du jardin botanique, un étiquetage des arbres de l'arboretum a aussi été réalisé. Il a consisté en une identification des espèces végétales de l'arboretum avec leurs noms vernaculaires (fig. 3). Des étiquettes portant le nom scientifique des espèces et leur nom vernaculaire ont été confectionnées et fixées sur les arbres à l'aide d'une pointe. Par la suite, des circuits écotouristiques ont été créés (fig. 4). Pour cela, des voies ont été ouvertes à l'aide d'une machette autour d'espèces emblématiques dans l'arboretum et la jachère. Les espèces de plantes présentes sur le circuit ont été étiquetées. Pour aider les visiteurs à mieux

s'orienter sur le circuit, des panneaux d'orientation ont été posés le long du parcours. Des *curricula* de formation sur l'éducation environnementale, la conservation de la biodiversité végétale et la culture des champignons comestibles ont été confectionnés.

Figure 3
Séance d'identification des espèces végétales de l'arboretum du CNF.
© Centre national de floristique.

Figure 4
Aménagements réalisés au sein de l'arboretum du CNF.
© Centre national de floristique.

Analyse des données

Analyse des données floristiques

Les données recueillies ont fait l'objet d'une analyse quantitative afin d'évaluer la richesse et la diversité floristique du CNF. Le nombre de spécimens numérisés de l'herbier à ce jour a été déterminé. Ensuite, le nombre d'espèces, de genres

et de familles, suivant la classification APG IV (2016), de l'herbier et du jardin botanique a été déterminé. Par ailleurs, une analyse qualitative a permis de déterminer les espèces à statut particulier du jardin botanique du CNF, en vue de souligner l'importance de ce patrimoine en termes de conservation pour la biodiversité. Cette analyse a consisté à confronter la liste des espèces inventoriées dans le jardin botanique du CNF à celles de Aké-Assi (1984, 1998, 2001, 2002), de Jongkind (2004) et de la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN, 2018), afin de déterminer les espèces endémiques, rares et/ou menacées de disparition présentes dans le jardin botanique du CNF. Enfin, les divers usages et fonctions des plantes ont été analysés en vue de catégoriser les différents services écosystémiques rendus par le CNF. Les indices de diversité de Shannon (1948) et d'équitabilité de Piélou (1966) ont été calculés, ainsi que le coefficient de similitude de Sørensen (1948).

L'indice de diversité de Shannon-Weaver

Cet indice a permis de calculer la diversité spécifique des échantillons récoltés dans les différents secteurs phytogéographiques de la Côte d'Ivoire ainsi que dans l'arboretum et dans la jachère. La formule mathématique est la suivante :

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} Pi \times \ln Pi$$

où H' représente l'indice de diversité de Shannon et Pi la proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces.

Les valeurs de cet indice varient entre 0 et ln S (diversité maximale). Lorsque le peuplement est composé d'une seule espèce, la valeur de cet indice est égale à 0 tandis que, pour une flore comportant un nombre élevé d'espèces, il tend vers ln S. Une forte valeur de H' indique une bonne biodiversité, susceptible de se maintenir durablement.

L'indice d'équitabilité de Piélou

Cet indice a permis d'apprécier l'homogénéité floristique de chaque secteur phytogéographique de la Côte d'Ivoire ainsi que celles de l'arboretum et de la jachère. La formule mathématique est la suivante :

$$E = H' / \ln S$$

où E représente l'indice d'équitabilité de Piélou, H' l'indice de Shannon, S le nombre total d'espèces d'un biotope donné, et ln S la diversité maximale du biotope.

L'équitabilité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une seule espèce et vers 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance.

Le coefficient de similitude de Sørensen

Ce coefficient a été utilisé pour évaluer le degré de ressemblance floristique entre les échantillons récoltés dans les différents secteurs phytogéographiques de la Côte d'Ivoire. La formule mathématique est la suivante :

$$Cs = 100 \times \frac{2c}{a+b}$$

où *Cs* représente le coefficient de similitude de Sørensen, *a* le nombre d'espèces du milieu A, *b* le nombre d'espèces du milieu B, et *c* le nombre d'espèces communes aux milieux A et B.

Si Cs > 50 % alors les deux milieux (A et B) se ressemblent floristiquement.

Analyse statistique des données

Pour évaluer la diversité floristique de l'herbier, le test de Kruskal-Wallis a été utilisé. Ce test est une alternative non paramétrique de l'analyse de la variance (Anova) dès que la distribution sous-jacente des données n'est plus gaussienne ou normale. Il a permis de comparer les moyennes des paramètres floristiques (richesse floristique, indices de diversité) calculées dans les différents secteurs phytogéographiques. Chaque fois que la probabilité calculée était significative, le test de Dunn a été effectué afin de comparer deux à deux les moyennes et d'apprécier les différences significatives qui existent entre elles. Le niveau de significativité choisi pour ces analyses est de 5 % ($P \leq 0{,}05$). Pour évaluer la diversité floristique du jardin botanique du CNF, le test t de Student pour deux échantillons indépendants et le test de Mann-Whitney ont été utilisés. Le test t de Student est un test paramétrique qui est utilisé pour comparer les moyennes de deux groupes indépendants. Quant au test de Mann-Whitney, il est une alternative non paramétrique du test t de Student lorsque la distribution sous-jacente des données ne suit plus une loi normale (Mann et Whitney, 1947).

Résultats

Diversité végétale de l'herbier du Centre national de floristique

Le nombre de spécimens présents dans l'herbier du CNF s'élève à 29 362 spécimens de plantes vasculaires correspondant à 18 832 occurrences. À la date d'aujourd'hui, 14 000 spécimens ont été scannés. L'herbier est riche de 4 257 espèces réparties en 1 485 genres et 226 familles (tabl. 1). Les familles les plus représentées en espèces sont les Fabaceae (11 %), les Rubiaceae (7,2 %) et les Poaceae (7,1 %). Ces plantes ont été récoltées dans la période 1900-2017 et sont pour la plupart originaires de la Côte d'Ivoire. Cependant, quelques-unes proviennent d'autres

Tableau 1
Richesse floristique de l'herbier du CNF.

Période de récolte	Nombre de spécimens récoltés	Nombre de spécimens restants	Nombre d'occurrence	Échantillons numérisés	Espèces	Genres	Familles	Familles représentatives
1900-2017	60 000	29 362	18 832	14 000	4 247	1 485	226	Fabaceae (11 %) Rubiaceae (7,2 %) Poaceae (7,1 %)

régions du globe et de l'Afrique de l'Ouest en particulier. Les récoltes de spécimens ivoiriens ont été effectuées sur l'ensemble des secteurs phytogéographiques de la Côte d'Ivoire.

Le secteur ombrophile a été le plus échantillonné avec 5 683 données d'occurrence. Ce secteur possède également la plus grande richesse et diversité spécifiques. En effet, il a été collecté 2 148 espèces au total avec une richesse moyenne de 186,7 ± 267,9 espèces par localité. La valeur d'indice de diversité de Shannon est de 4,4 ± 1,3 correspondant à un indice d'équitabilité de Piélou de 0,9 ± 0,01 (tabl. 2).

Tableau 2
Richesse et diversité floristique de l'herbier du CNF par secteur phytogéographique de la Côte d'Ivoire.

Secteurs	Occurrence	Richesse spécifique	Nombre moyen d'espèces*	Indice de Shannon moyen*	Indice de Piélou moyen*
Littoral	612	378	74 ± 85,3ab	3,6 ± 1,3ab	0,9 ± 0,02a
Ombrophile	5 683	2 148	186,7 ± 267,9b	4,4 ± 1,3b	0,9 ± 0,01a
Mésophile	3 151	1 569	90,5 ± 118,4ab	3,8 ± 1,2ab	0,9 ± 0,01a
Montagnard	1 034	574	70,1 ± 117,2ab	3,1 ± 1,6ab	0,9 ± 0,02a
Sub-soudanais	1 579	866	111,5 ± 96,4ab	4,1 ± 1,5ab	0,8 ± 0,3a
Soudanais	534	363	62,9 ± 78,1a	2,9 ± 2,0a	0,8 ± 0,4a
Total	**14 244**	**3 658**	**113,1 ± 161,7ab**	**3,8 ± 1,4ab**	**0,9 ± 0,1a**
Statistiques du test			K = 111,3	K = 143,3	K = 57,6
			P < 0,001	P < 0,001	P > 0,05

*La même lettre (a, b) dans une colonne indique qu'il n'existe aucune différence significative entre les espèces.

Le secteur soudanais est le moins échantillonné et enregistre un nombre significativement faible d'échantillons récoltés (534 spécimens). Ce secteur correspond à une zone de faible diversité spécifique. Il y a été collecté 363 espèces, avec une richesse moyenne de 62,9 ± 78,1 espèces par localité. Les valeurs d'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou sont respectivement de 2,9 ± 2,0 et 0,8 ± 0,4. Les valeurs du coefficient de similitude de Sørensen des secteurs phytogéographiques pris deux à deux sont inférieures à 50 %, et indiquent des ressemblances floristiques assez faibles entre les échantillons récoltés dans chaque zone phytogéographique, à l'exception des secteurs mésophiles et ombrophiles qui ont une similitude floristique avec un coefficient de Sørensen d'une valeur de 51,5 % (tabl. 3).

Tableau 3
Similarité floristique entre les différents secteurs phytogéographiques selon le coefficient de similitude de Sørensen (%).

	Littoral	Méso-phile	Monta-gnard	Ombro-phile	Pré-forestier	Soudanais	Sub-soudanais
Littoral							
Mésophile	14,7						
Montagnard	8,8	23					
Ombrophile	20,7	51,5	19,1				
Préforestier	14,4	32,9	16,9	24,3			
Soudanais	10,8	10,5	6,8	9,5	25,8		
Sub-soudanais	12,5	24	13,6	18,4	40	34,8	

Diversité végétale du jardin botanique

Le jardin botanique du CNF renferme 555 espèces végétales réparties en 380 genres et 103 familles (tabl. 4). Les familles dominantes, avec plus de 15 espèces, sont : les Fabaceae (79 espèces, soit 14 %), les Malvaceae (38 espèces, soit 6,8 %), les Rubiaceae (39 espèces, soit 7 %), les Sapotaceae et les Apocynaceae (23 espèces chacune, soit 4 %), les Euphorbiaceae (20 espèces, soit 3,6 %) et les Meliaceae (19 espèces, soit 3,4 %). Le jardin botanique du CNF renferme 127 espèces à statut particulier, soit 23 % de l'ensemble des espèces recensées. Elles sont réparties sur l'ensemble de l'arboretum du CNF. On y compte 79 espèces endémiques, soit 14,23 % parmi lesquelles 56 espèces sont endémiques de la région ouest-africaine (GCW), 49 espèces sont endémiques de la Haute-Guinée et neuf espèces sont endémiques de Côte d'Ivoire (GCi). Quarante-neuf espèces sont inscrites sur la liste rouge de l'UICN (2018), soit 8,82 %. Il s'agit de 37 espèces vulnérables (VU), cinq espèces en danger (EN), trois espèces à risque faible avec absence de données (LR/lc) et quatre espèces quasi menacées (LR/nt). Enfin, 27 espèces

figurent sur la liste de Ake-Assi (1998). Parmi celles-ci, 26 espèces sont jugées rares, devenues rares et/ou menacées d'extinction de la flore ivoirienne (AA) et une espèce est portée disparue (D) (tabl. 4).

Tableau 4
Richesse floristique du jardin botanique du CNF.

Espèces	Genres	Familles	Espèces à statut particulier
555	380	103	127 espèces à statut particulier 79 espèces endémiques 27 espèces rares, devenues rares et menacées d'extinction 49 espèces rares selon UICN (2018)

L'arboretum, quant à lui, est riche de 445 espèces réparties en 324 genres et 99 familles (tabl. 5). Les familles les plus importantes en nombre sont celles des Rubiaceae (32 espèces, soit 7 %), des Euphorbiaceae (28 espèces, soit 6 %) et des Caesalpiniaceae (22 espèces, soit 5 %). L'arboretum comprend également 91 espèces à statut particulier dont 54 espèces endémiques, 19 espèces jugées rares, devenues rares et/ou menacées d'extinction de la flore ivoirienne (AA) et 34 espèces appartenant à la liste rouge des espèces vulnérables ou en danger de l'UICN (2018). La jachère compte 179 espèces réparties en 130 genres et 58 familles. Les familles les plus abondantes en espèces sont les Leguminosae (28 espèces, soit 16 %), les Apocynaceae et les Malvaceae (dix espèces chacune, soit 6 %), les Poaceae (huit espèces, soit 4,5 %) et, les Rubiaceae, les Menispermaceae et les Euphorbiaceae (sept espèces chacune, soit 4 %). Elle compte aussi 30 espèces à statut particulier dont 22 espèces endémiques, quatre espèces jugées rares, devenues rares et/ou menacées d'extinction de la flore ivoirienne (AA) et huit espèces sont présentes sur la liste rouge des espèces vulnérables ou en danger de l'UICN (2018).

L'arboretum possède une plus faible richesse spécifique comparativement à la jachère. En effet, la valeur moyenne de la richesse spécifique est de 12,18 ± 5,84 dans l'arboretum et de 48,06 ± 9,22 dans la jachère. Les analyses statistiques montrent une différence significative ($P < 0,0001$). La valeur de l'indice de diversité de Shannon est de 2,27 ± 0,65 dans l'arboretum et de 2,12 ± 0,24 dans la jachère. Celle de l'indice d'équitabilité de Piélou est de 0,94 ± 0,07 dans l'arboretum et de 0,55 ± 0,04 dans la jachère. Les analyses statistiques montrent une différence significative entre les moyennes des indices d'équitabilité de Piélou ($P < 0,0001$). Ces résultats indiquent que l'arboretum et la jachère sont autant diversifiés en espèces. Toutefois, la répartition des espèces dans la jachère se fait de manière irrégulière, avec la dominance d'une espèce par rapport aux autres (tabl. 5).

Tableau 5
Diversité floristique du jardin botanique du CNF.

Biotopes	Espèces	Genres	Familles	Richesse spécifique moyenne*	Indice de Shannon moyen*	Indice de Piélou moyen*
Arboretum	445	324	99	12,18 ± 5,84a	2,27 ± 0,65a	0,94 ± 0,07a
Jachère	179	130	58	48,06 ± 9,22b	2,12 ± 0,24a	0,55 ± 0,04b
Statistique des tests				P < 0,0001	P > 0,05	P < 0,0001

*La même lettre (a, b) dans une colonne indique qu'il n'existe aucune différence significative entre les espèces.

Services écosystémiques fournis par le jardin botanique

Services de régulation

Le jardin botanique joue un rôle écologique dans la lutte contre le réchauffement climatique au sein de la ville d'Abidjan à travers la séquestration du carbone. En effet, la biomasse totale du CNF est estimée à 294,66 t/ha, correspondant à un stock de carbone de 145,83 t/ha. Le coût financier du stock de CO_2 séquestré varie de 2 770,89 € (soit 1 814 932,95 FCFA) selon le marché du mécanisme de développement propre (MDP), à 12 930,88 €, (soit 8 469 726,4 FCFA) selon le marché de la Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation forestière ($REDD^+$).

Le CNF joue également un rôle important dans la réduction de la pollution atmosphérique. En effet, le jardin botanique, par son couvert, constitue une barrière plus ou moins efficace contre les dépôts atmosphériques répercutés sur les sols. Cela est indiqué par une baisse des teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans les pluviolessivats par rapport à celles dans les eaux de pluie en dehors des couverts végétaux. Les ETM les plus connus pour leur dangerosité sont le zinc (Zn), le nickel (Ni), le chrome (Cr) et le cadmium (Cd). La détermination de la composition chimique des teneurs en ETM des précipitations hors couvert et sous couvert végétal révèle la présence du zinc, du nickel, du chrome et du caladium (tabl. 6). Le Zn est l'élément le plus abondant dans les précipitations de façon générale, hors et sous couvert végétal, avec des valeurs moyennes respectives de 35,07 ± 14 $ng.l^{-1}$ et 13,98 ± 3,28 $ng.l^{-1}$. Le Ni occupe la deuxième position avec des valeurs moyennes respectives de 7,78 ± 0,15 $ng.l^{-1}$ et 8,01 ± 0,21 $ng.l^{-1}$. Le Cr est en troisième position avec des compositions moyennes respectives de 3,59 ± 0,10 $ng.^{l-1}$ et 3,71 ± 0,31 $ng.l^{-1}$. Le Cd est l'ETM le moins abondant dans les eaux de pluie avec des moyennes respectives de 1,85 ± 1,05 $ng.l^{-1}$ et 0,94 ± 0,02 $ng.l^{-1}$. L'ordre de concentration des différents éléments est donc la suivante : Zn > Ni > Cr > Cd (fig. 5). L'estimation des flux annuels des ETM retournant au sol à travers les précipitations indique la séquence suivante : FZn > FNi > FCr > FCd (tabl. 6). La comparaison des deux types de précipitation (hors couvert et pluviolessivats) montre que les apports au sol des ETM sont dominés par les précipitations qui atteignent effectivement la surface du sol (les précipitations incidentes), après qu'une partie

Tableau 6
Teneurs en ETM (ppt ou 10^{-5} mg/l) et moyennes respectives des précipitations incidentes (HC) et des pluviolessivats (SC) du CNF, et normes recommandées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Union européenne (UE) pour l'eau potable.

Pluviomètre	Zn		Ni		Cr		Cd	
	HC	SC	HC	SC	HC	SC	HC	SC
1	40,87	11,53	7,95	7,78	3,61	3,66	3,03	0,95
2	45,49	13,36	7,73	7,80	3,55	3,38	1,29	0,95
3	18,85	12,94	7,66	8,25	3,61	3,68	1,13	0,92
4	-	12,34	-	8,04	-	3,89	-	0,95
5	-	19,71	-	8,14	-	3,86	-	0,94
Moyenne*	35,07 ± 14,24a	13,98 ± 3,28a	7,78 ± 0,15a	8,01 ± 0,21a	3,59 ± 0,04a	3,69 ± 0,20a	1,82 ± 1,05a	0,94 ± 0,02a

*La même lettre (a, b) dans une ligne indique qu'il n'existe aucune différence significative entre les espèces.

	Zn	Ni	Cr	Cd
Norme OMS (2006)	3 mg/l	0,07 mg/l	0,05 mg/l	0,003 mg/l
Norme UE (1998)	-	0,02 mg/l	0,05 mg/l	0,00 5 mg/l

Source : www.lenntech.com.fr

Figure 5
Flux des ETM des pluviolessivats (SC) et des pluies incidentes (HC).
Source : Pitta, 2016.

ait été retenue par la végétation (les pluviolessivats). Cet apport des ETM au sol par les précipitations incidentes est supérieur de 45 % (Ni) à 60 % (Zn) à l'apport des ETM des pluviolessivats au sol.

Services d'approvisionnement

Le jardin botanique fournit des services d'approvisionnement. Plusieurs usages sont associés aux plantes listées sur le site d'étude. Ce sont au total 265 espèces (soit 47,75 %) qui ont été identifiées comme plantes à usages. Parmi celles-ci,

87 espèces (soit 15,67 %) sont utilisées comme bois d'œuvre ; 183 espèces (soit 33 %) sont des plantes médicinales ; 30 espèces (soit 5,4 %) sont utilisées comme plantes alimentaires et 34 espèces (soit 6,12 %) ont un usage ornemental. Les plantes médicinales sont le plus souvent utilisées pour traiter les affections telles que les hémorroïdes, l'accès fébrile, l'ictère, l'anémie, les céphalées, le paludisme et l'ulcère. Ces plantes sont aussi utilisées comme revigorants, cicatrisants, vermifuges ou aphrodisiaques. La plupart des plantes ornementales sont utilisées par les populations dans l'aménagement des espaces verts.

Service culturel

Le CNF joue un rôle de conservation *ex situ* de la flore et d'appui à l'enseignement et à la recherche scientifique (fig. 6). C'est un centre de formation et de renforcement des capacités. En effet, des recherches en écologie des invasions, en foresterie, en entomologie, en mycologie, en pédologie et dans le domaine de la conservation de la biodiversité y sont effectuées. S'agissant de la formation à la conservation de la biodiversité, 1 000 personnes ont été formées ainsi que dix guides écotouristes (fig. 7 et 8). Dix-neuf auditeurs ont été formés aux techniques de production de deux champignons comestibles, *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) et *Pleurotus pulmonaris* (Pleurotaceae) (fig. 9 et 10). Ces auditeurs sont composés majoritairement de travailleurs (treize), de scolaires (deux) et de quatre personnes (un étudiant, un commerçant, un agriculteur et une personne en recherche d'emploi). Ces personnes formées sont neuf femmes et dix hommes (fig. 9). Des essais de culture des champignons comestibles ont eu lieu ainsi que de domestication d'espèces ornementales telles que *Thunbergia atacorensis* Akoègninou & Lisowski (Acanthaceae), une espèce introduite en Côte d'Ivoire depuis 2004. Le CNF est aussi un centre d'activités sportives et récréatives. En effet, ce jardin est un « réservoir de l'esthétisme et du bien-être ». C'est un espace vert qui contribue à l'amélioration de la qualité du cadre de vie de la population urbaine et à l'attractivité des touristes, par ses caractéristiques floristiques et ses bienfaits sociaux. Plusieurs travaux d'aménagement et d'étiquetage des arbres ont

Figure 6
Proportions des services socioculturels rendus par le CNF.

été effectués au sein du jardin botanique afin de développer l'écotourisme. Ce sont 369 espèces d'arbres qui ont été étiquetées, et deux circuits écotouristiques comprenant 50 panneaux d'orientations ont été créés.

Figure 7

Cours théorique portant sur l'éducation environnementale, la conservation de la biodiversité végétale et la culture des champignons comestibles.

© Centre national de floristique.

Figure 8

Activités de formation et de visite écotouristique au CNF.

© Centre national de floristique.

Figure 9
Profil des auditeurs de la formation sur la biodiversité et la culture des champignons comestibles.

Figure 10
Pleurotus ostratus *(à gauche) et* Pleurotus pulmonaris *(à droite) cultivées au cours des sessions de formation des champignons comestibles.*
© Centre national de floristique.

Discussion

Diversité floristique de l'herbier

Cette étude a permis de montrer que l'herbier du CNF renferme 29 362 spécimens échantillons. Il est moins riche que l'herbier du Muséum national d'histoire naturelle de Paris qui possède 8,8 millions de spécimens, que celui du Cameroun (62 000 spécimens) et que l'herbier ALF du Cirad (60 000 spécimens) (Durand et Loup, 2007). Cependant, il est plus riche que l'herbier du Gabon (1 000 spécimens) (Durand et Loup, 2007 ; Bazan *et al*., 2019). Les spécimens de l'herbier du CNF datent de la fin du XIXe siècle, date à partir de laquelle les

activités de collecte ont été initiées par les premiers colons présents en Côte d'Ivoire. En effet, comme le soulignent Chatelain *et al*. (2011), les premières récoltes botaniques datent de 1882. Par la suite, les échantillons ont été renforcés par des collectes réalisées au cours des différents programmes d'étude et de recherche sur la flore de Côte d'Ivoire (Ake-Assi, 1984). Au fil des différentes missions de collecte dans toutes les régions de Côte d'Ivoire, l'herbier s'est enrichi à près de 60 000 spécimens (CNF, 1998 ; Radji *et al*., 2009). Aujourd'hui, cet herbier s'est considérablement réduit. La différence observée entre les données d'inventaire antérieures et celles actuelles en termes de nombre d'échantillons pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment : une baisse des financements de collecte, la détérioration de nombreux spécimens due aux différentes manipulations, des pertes de spécimens comme par exemple lors de l'attaque de l'herbier par des vandales pendant la crise post-électorale de 2011, ainsi que des dons à d'autres herbiers. Cette étude montre par ailleurs que le secteur ombrophile a été plus échantillonné par les collecteurs que le secteur soudanais. Le secteur ombrophile possède la plus grande richesse et diversité spécifique, et la plupart des études scientifiques menées en Côte d'Ivoire se sont focalisées sur la zone Sud-forestière et le secteur mésophile. Très peu d'investigations ont porté sur la partie Nord de la Côte d'Ivoire (Tiébré *et al*., 2016 ; Yao, 2019).

Aujourd'hui, plus de la moitié des échantillons de l'herbier du CNF sont numérisés. Cet herbier s'inscrit ainsi comme plusieurs autres herbiers dans la démarche des sciences ouvertes, avec la mise en ligne de ses données en libre accès. Les herbiers mondiaux se sont modernisés de façon croissante grâce à l'outil informatique. L'informatisation des collections et la réalisation d'images numériques sont nécessaires pour une gestion rigoureuse et une exploitation efficace des herbiers. Elles permettent de co-construire, avec les chercheurs et étudiants qui souhaitent utiliser ces données d'herbiers, des projets de valorisation adaptés à leurs thématiques de recherche. Elles permettent également une mise à disposition des informations, en particulier des pays développés vers les pays du Sud et réciproquement (Pignal et Labat, 2004 ; Bazan *et al*., 2019). L'herbier du CNF constitue ainsi un outil important qui assure la gestion et la conservation de la biodiversité en Côte d'Ivoire. Il mérite d'être valorisé.

Diversité floristique du jardin botanique

La flore du jardin botanique du CNF, estimée à 555 espèces, représente 14,40 % de la flore de la Côte d'Ivoire estimée à 3 853 espèces (Ake-Assi, 2001, 2002). Malgré sa faible superficie (10,25 ha), le CNF détient une richesse spécifique qui rivalise avec la flore présente dans des espaces plus grands, notamment la forêt classée d'Agbo (686 espèces pour une superficie de 15 575 ha) (N'Guessan, 2018), le parc national du Banco (624 espèces pour une superficie de 3 438,34 ha) (De Koning, 1983) et le parc national d'Azagny (821 espèces pour une superficie de 21 850 ha) (Koffi, 2016). La richesse spécifique non moins importante du CNF serait liée à la conservation de ce jardin botanique situé en plein site

universitaire et à l'introduction volontaire de nouvelles espèces par les gestionnaires du centre.

Il ressort de cette étude que les Fabaceae, les Malvaceae, les Rubiaceae, les Sapotaceae, les Apocynaceae, les Euphorbiaceae et les Meliaceae représentent les familles dominantes de la flore du CNF. Ce résultat rejoint les travaux de Sonke (1998) et Yongo (2003), indiquant que ces familles sont courantes dans la plupart des forêts de Côte d'Ivoire et des forêts africaines. Plusieurs espèces endémiques, rares et/ou menacées d'extinction, ont été signalées dans le jardin botanique du CNF. La proportion non négligeable (23 %) de ces espèces à valeur de conservation confirme bien le rôle de conservation de la biodiversité que joue ce centre qui mérite, de ce fait une plus grande attention. Cette étude montre que l'arboretum et la jachère du CNF sont autant diversifiés en espèces. Cela pourrait s'expliquer par l'âge de la jachère (plus de trente ans). En effet, selon N'Guessan (2018), au bout de trente années de reconstitution, il existe une convergence de la composition floristique de la vieille jachère vers celle de la forêt originelle, de nombreuses espèces de la forêt ancienne s'étant déjà ré-établies. Toutefois, la faible équitabilité dans la jachère indique une dominance de quelques espèces. La raison serait les activités anthropiques récentes, réalisées dans certaines zones de cet habitat, qui ont favorisé l'expansion de certaines espèces au détriment d'autres. Ces travaux sont en accord avec ceux de Darkoh (2003) et de Ouattara *et al.* (2016) qui ont montré la responsabilité des activités anthropiques dans la destruction de la végétation, la fragmentation des paysages et la déforestation.

Services écosystémiques rendus par le CNF

Trois catégories de services écosystémiques ont été relevées au CNF, outre le service de soutien à la formation des trois autres services écosystémiques, à savoir les services de régulation, d'approvisionnement et les services socioculturels (Kouamé, 2013 ; Pitta, 2016 ; Akpro, 2020 ; Koné, 2020). Les services de régulation assurés par le CNF sont, entre autres, la séquestration du carbone, la régulation du microclimat et la purification de l'air, assurés en grande partie par la strate arborescente (Kouamé, 2013 ; Koné, 2020). En effet, la quantité de carbone séquestré par le jardin botanique du CNF, estimée à 145,83 t/ha, est proche de la fourchette de 150 à 500 t/ha correspondant aux variations de carbone stocké par certaines forêts tropicales (Lescuyer et Locatelli, 1999). Les travaux de Nasi *et al.* (2008), en utilisant différentes méthodologies, ont obtenu des valeurs de stock de carbone comprises entre 150 et 175 t C/ha pour des forêts denses humides de basse altitude d'Afrique centrale. Par comparaison à ces forêts naturelles, le taux de carbone stocké par le jardin botanique du CNF, qui est une forêt urbaine, est non négligeable. Ainsi, Le CNF joue un rôle écologique très important dans le district d'Abidjan, car il représente un véritable puits de carbone et il participe à la purification de l'air. Bisquit *et al*. (2012) affirment que la régulation du climat et l'influence sur la qualité de l'air sont des services universels et sans frontière.

Concernant la valeur d'usage direct du CNF, la fourniture en espèces médicinales représente le principal service d'approvisionnement procuré par le jardin botanique. Ce résultat corrobore ceux de Bisquit *et al*. (2012) qui donnent l'usage médicinal des plantes comme le plus important service d'approvisionnement dans le monde. D'après ces auteurs, environ 50 000 à 70 000 espèces de plantes dans le monde sont utilisées en médecine traditionnelle ou moderne. Le CNF est également important en termes d'approvisionnement en espèces de bois d'œuvre. Le nombre d'essences forestières (87 espèces) rencontrées dans ce jardin botanique représente 87 % de l'ensemble des bois d'œuvre recensés en Côte d'Ivoire (100 espèces selon la Société de développement des forêts, Sodefor, communication personnelle). Cette importante richesse en bois d'œuvre de diverses catégories pourrait s'expliquer par le caractère artificiel du CNF. Les arbres y sont plantés volontairement. Le CNF joue ainsi le rôle de réserve en semences d'essences forestières.

Les services socio-éducatifs que rend le CNF sont, entre autres, la mise en place de zones refuges de la biodiversité du fait de ses caractéristiques floristiques, l'appui à la formation pédagogique et à la recherche scientifique, la formation à l'éducation environnementale et à l'écotourisme, la mise à disposition de pépinières de plantes à statut particulier et de semences de champignons sauvages comestibles, ainsi que l'évaluation des activités biologiques des plantes médicinales. Ces potentialités font du CNF un gisement exceptionnel de richesses qui mérite d'être valorisé. Cette recommandation a été également émise par Bisquit *et al*. (2012), qui soulignent l'aspect éducatif de l'ensemble des services culturels fournis par les écosystèmes. En orientant ainsi ses activités vers l'homme et son environnement, le CNF se place en valeur de référence d'un institut dédié à la valorisation de la biodiversité végétale et au développement socio-économique des populations. Cette ouverture du monde scientifique vers la société tout entière permet de sensibiliser davantage différents publics sur les services fournis gracieusement par la nature et sur la nécessité de les gérer durablement.

Conclusion

L'herbier du CNF comprend 29 362 spécimens correspondant à 18 832 occurrences. Les spécimens sont repartis en 4 257 espèces appartenant à 1 485 genres et 226 familles. Le jardin botanique renferme 555 espèces végétales réparties en 380 genres et 103 familles. Il compte 127 espèces à statut particulier dont 79 espèces endémiques, 49 espèces inscrites sur la liste rouge de l'UICN et 27 espèces figurant sur la liste de Ake-Assi (2001). Trois principaux services écosystémiques ont été identifiés outre le service de soutien les services de régulation, d'approvisionnement et culturel. En effet, le CNF participe à la régulation du climat par la séquestration du carbone et la purification de l'air. Par

ailleurs, ce jardin botanique est riche en plantes médicinales et procure plusieurs bénéfices aux populations dont la recherche scientifique, les visites guidées, l'accès à la nature pour les loisirs et l'écotourisme, la beauté des paysages, les formations à la culture des champignons comestibles donc à la lutte contre la pauvreté, et l'éducation environnementale. Cette étude pourrait constituer une base de données importante pour la valorisation du CNF et des services écosystémiques.

Remerciements

Nous remercions le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour le financement du projet « Herbier AAP4-43 ». Nous remercions également le Global Biodiversity Information Facility pour le financement du projet « BID-AF2015-0025-NAC ». Les financements fournis par ces deux structures ont permis la numérisation de l'herbier et une meilleure valorisation de la biodiversité végétale du Centre national de floristique.

Nos remerciements vont enfin à l'endroit du programme du Centre d'échange d'informations sur la diversité biologique (CHM) de l'Institut royal de sciences naturelles de Belgique (IRSNB) pour le financement du projet « 2018/SO3-2/201 » qui a permis de développer un programme de sensibilisation de la communauté scolaire d'Abidjan à la conservation de la biodiversité.

Accès aux données

La liste floristique des plantes à statut particulier et utilitaires du jardin botanique du CNF est accessible à l'adresse suivante : https://www.researchgate.net/publication/350707273_ANNEXE_1_Liste_floristique_des_plantes_a_statut_particulier_et_utilitaires_du_jardin_botanique_du_Centre_National_de_Floristique

Références bibliographiques

Ake-Assi L., 1998
Impact de l'exploitation forestière
et du développement agricole sur la conservation
de la biodiversité biologique en Côte d'Ivoire.
Le flamboyant, 46 : 20-22.

Ake-Assi L., 2001
Flore de la Côte d'Ivoire 1. Catalogue systématique, biogéographie et écologie.
Conservatoire et jardin botaniques, Genève,
396 p.

Ake-Assi L., 2002
Flore de la Côte d'Ivoire 2. Catalogue, systématique, biogéographie et écologie. *Boisseria*, 58, 441 p.

Ake-Assi E., Ipou J., 2006
Litsea glutinosa (Lour.) C. B. Robinson (Lauraceae) : de son introduction en Côte d'Ivoire à la conquête de l'espace. *The Science of Nature*, 3 (2) : 113-220.

Ake-Assi L., 1984
Flore de la Côte d'Ivoire : étude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques. Thèse de doctorat d'État, faculté des Sciences et Techniques, université de Cocody, Abidjan, 1 206 p.

Akpro E. M. D., 2020
Disponibilité des plantes utiles de la jachère du Centre national de floristique de l'université Félix Houphouët-Boigny de Cocody (Côte d'Ivoire). Master de Biodiversité et valorisation des écosystèmes, UFR Biosciences, université Félix Houphouët-Boigny, Cocody, Abidjan, 81 p.

APG IV., 2016
An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161 : 1-20.

Bazan S., Taugourdeau S., Ndiaye O., 2019
L'herbier ALF du Cirad : une collection de plantes africaines en ligne. IRD, Cirad, Ucad, Dakar : Poster, Colloque international « Science ouverte au Sud : enjeux et perspectives pour une nouvelle dynamique », Dakar, Sénégal, 23-25 oct. 2019.

Bisquit L. A., Patentreger B., Tarrier D., 2012
Descriptif argumenté des services rendus par les forêts. *Envol vert* : 1-13.

Balez A., Reunkrilerk J., 2013
Écosystèmes et territoires urbains : impossible conciliation ? *Santé et Environnement*, 4 (2) : 1-19.

Boraud N. K. M., 1995
Étude floristique et phytosociologique de la jachère attenante au jardin botanique. Mémoire de DEA d'Écologie tropicale, UFR Biosciences, université de Cocody, Abidjan, 60 p.

Chatelain C., Ake-Assi L., Spichiger R., Gautier L., 2011
Cartes de distribution des plantes de Côte d'Ivoire. *Boissiera*, 64 : 1-327.

CNF, 1998
Le CNF, un patrimoine national, voire mondial à sauvegarder. CNF, université de Cocody, Abidjan, 15 p.

Constanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R., Paruelo J., Raskin R., Sutton P., van den Belt M., 1997
The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 (15) : 253-260.

CDB (Convention sur la diversité biologique), 1992
Nations unies. Sommet de la Terre, Rio de Janeiro. 32 p.

Darkoh M. B. K., 2003
Regional perspectives on agriculture and biodiversity in the drylands of Africa. *Journal of Arid Environments*, 54 : 261-279.

De Koning J., 1983
La forêt du Banco. Thèse de doctorat, université de Wageningen, 161 p.

Dilet C., 2014
Valorisation financière de la biodiversité : recommandations pour l'outil Biocompta. Maîtrise en Environnement et master en Gestion intégrée de l'environnement, de la biodiversité et des territoires, Centre universitaire de formation en environnement et développement durable, université de Sherbrook, 131 p.

Dubus-DeWarnaffe G., Devillez F., 2002
Quantifier la valeur écologique des milieux pour intégrer la conservation de la nature dans l'aménagement des forêts : une démarche multicritère. *Annals of Forest Science,* 59 (4): 369-387.

Durand M., Loup C., 2007
L'avenir des herbiers de Montpellier. Montpellier, Tela Botanica, 30 p.

Eldin M., 1971
« Le climat de la Côte d'Ivoire », *In* : *Le milieu naturel de Côte d'Ivoire*. Mémoires Orstom, 50, IRD Éditions, Paris, France : 73-108.

FAO., 2006
World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication. *World soil resources reports,* 103, 145 p.

Guillaumet J. L., Adjanohoun E., 1971
« La végétation de la Côte d'Ivoire », *In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Mémoires Orstom, 50, IRD Éditions, Paris : 157-263.

Jongkind C. C. H., 2004
"Checklist of Upper Guinea forest species", *In* Poorter L., Bongers F. N., Kouamé W. D. (eds) : *Biodiversity of west African forests: an ecological atlas of woody plant species*. Hawthorne, Cabi Publishing, London : 447-477.

Koffi K. A. D., 2009
Évolution de la flore et de la végétation de la jachère du Centre national de floristique de l'université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire). DEA de Botanique, Écologie végétale, UFR Biosciences, université de Cocody, Abidjan, 54 p.

Koffi K. A. D., 2016
Dynamique de la végétation et valeurs de conservation des espaces anciennement cultivés du parc national d'Azagny (sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, UFR Biosciences, université Félix Houphouët-Boigny, Cocody, Abidjan, 186 p.

Koné H., 2020
Diversité floristique et capacité de séquestration du carbone d'une forêt urbaine : cas de la jachère du Centre national de floristique (Abidjan, Côte d'Ivoire). Master de Biodiversité et valorisation des écosystèmes, écologie végétale, UFR Biosciences, université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 77 p.

Kouadio Y. J. C., 2016
Diversité végétale, services écosystémiques et valeur économique de la végétation urbaine de la ville d'Abidjan cote d'Ivoire. Thèse de doctorat, université Felix Houphouet Boigny, Cocody, Abidjan, 210 p.

Kouadio Y. J. C., Vroh B. T. A., Goné Bi Z. B., Adou Yao C. Y., N'Guessan K. E., 2016
Évaluation de la diversité et estimation de la biomasse des arbres d'alignement des communes du Plateau et de Cocody (Abidjan – Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 97 : 9141-9151.

Kouamé A. P. S., 2013
Diversité végétale et estimation de la biomasse dans l'arboretum du Centre national de floristique (Abidjan, Côte d'Ivoire). Mémoire de master de Systématique, Écologie et Biodiversité végétales, UFR Biosciences, université Félix Houphouet Boigny, Abidjan, 86 p.

Kpangui K. B., 2010
Apport des systèmes d'informations géographiques à l'étude de la diversité spécifique de l'arboretum du Centre national de floristique (Côte d'Ivoire). DEA d'Écologie tropicale, UFR Biosciences, université de Cocody, Abidjan, 80 p.

Lescuyer G., Locatelli B., 1999
Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique. *Bois et forêts des tropiques*, 260 (2), 13 p.

Maitre d'hôtel E., Pelegrin F., 2012
Les valeurs de la biodiversité : un état des lieux de la recherche française. Rapport FRB, série Expertise et synthèse, 48 p.

Mangenot G., 1955
Étude sur les forêts des plaines et plateaux de la Côte d'Ivoire : étude éburnéenne. Tome 4. Ifan, Dakar, 56 p.

Mann B. H., Whitney R. D., 1947
On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Ann. Math. Stat.*, 18 (1) : 50-60.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005
Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, 137 p.

Mehdi L., 2010
Structure verte et biodiversité urbaine : l'espace vert, analyse d'un écosystème anthropisé. Thèse de Doctorat, université de Tours, 240 p.

Monza J. P., 1996
L'atlas pour la conservation des forêts tropicales d'Afrique. UICN, 310 p.

Nasi R., Mayaux P., Devers D., Bayol N., Eba'a Atyi R., Mugnier A., Cassagne B., Billand A., Sonwa D., 2008
Un aperçu des stocks de carbone et leurs variations dans les forêts du Bassin du Congo. Office des publications de l'Union européenne, 206 p.

N'Guessan A. E., 2018
Dynamique de la végétation et facteurs de reconstitution de la biomasse dans les forêts secondaires : cas de la forêt classée d'Agbo 1 (sud-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, laboratoire de botanique, UFR Biosciences, université Félix Houphouët- Boigny, Abidjan, 177 p.

Nomel G. J. R., Kouassi R. H., Ambé A. S. A., Kouadio Y. J. C., Doumbia M., N'guessan K. E., 2019
Diversité et stock de carbone des arbres d'alignement : cas d'Assabou et Dioulakro de la ville de Yamoussoukro (centre de la Côte d'Ivoire). *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 13 (4) : 84-89.

Ouattara D., Kouame D., Tiébré M. S., Kouadio Y. J. C., N'guessan K. E., 2016
Biodiversité végétale et valeur d'usage en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (3) : 1122-1138.

Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A., 2007
Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (5) : 1633-1644.

Perraud A., 1971
« Les sols ». *In Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Mémoire Orstom, IRD Éditions, Paris : 157-263.

Piélou E. C., 1966
The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theorotical Biology*, 13 : 131-144.

Pignal M., Labat J. N., 2004
« L'herbier du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, bilan et perspectives ». *In* Pierrel R., Reduron J.-P. (éd.) : *Actes du colloque « Les herbiers : un outil d'avenir. Tradition et modernité », Lyon, 20-22 nov. 2002* : 9-17. Association française pour la conservation des espèces végétales (AFCEV), Villers-lès Nancy.

Pitta A. M. C., 2016
Évaluation des apports atmosphériques dans un écosystème forestier urbain : cas du Centre national de floristique (CNF) de Cocody. Master en Sciences de la Terre, UFR des Sciences de la Terre et des ressources, université Felix Houphouët-Boigny, Cocody, Abidjan, 76 p.

Radji R., Guelly K., Akpagana K., Florence J., ChevillotteH., Kokou K., 2009
État des lieux sur la flore et les herbiers d'Afrique occidentale francophone. *Ann. univ. Lomé* (Togo), série Sciences, tome XVII : 73-87.

Ramage A., 2011
Regard sur la biodiversité végétale cultivée. Le catalogue officiel des espèces et variétés : une réglementation dérangeante. Mémoire de séminaire Économie du développement durable, université Lumière Lyon 2, Institut d'Études politiques de Lyon, 65 p.

REDD+, 2017
Données forestières de base pour la REDD+ en Côte d'Ivoire : cartographie de la dynamique forestière de 1986 à 2015. Rapport Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Abidjan, 32 p.

Ribière G., 2013
Valeurs de la biodiversité, prix de la nature. *Dans vraiment durable*, 2 (4) : 29-45.

Serpantié G., Méral P., Bidaud C., 2012
Des bienfaits de la nature aux services écosystémiques : éléments pour l'histoire et l'interprétation d'une idée écologique. *VertigO*, 12 (3) : 1-25.

Shannon C. E., 1948
A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27 : 379-423.

Somda J., 2013
Valorisation des services fournis par les écosystèmes et la biodiversité : méthodes et résultats relatifs à la valorisation. Atelier sous-régional pour l'Afrique de l'Ouest subsaharienne, Ouagadougou, 20 p.

Sonke B., 1998
Études floristiques et structurales des forêts de la réserve de faune du Dja (Cameroun). Thèse de doctorat, université libre Bruxelles, 267 p.

Sørensen T., 1948
A method of establishing groups of amplitude in sociology based on similarity of content, and its application to analysis of the vegetation on Danish Commons. *Biologisfter*, 5 : 1-34.

Tiébré M. S., Ouattara D., Vroh B. T. A., Gnagbo A., N'Guessan K. E., 2016
Diversité floristique et disponibilité des plantes utilitaires en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 102 : 9699-9707.

Tisserand F., 2011
Services rendus par les écosystèmes forestiers et scénarios de valorisation au profit des propriétaires : le cas des services liés à l'eau. Forêt, Nature et Société, Agro Paris Tech, France, 54 p.

UICN, 2018
The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-2. http://www.iucnredlist.org (date de consultation : 4 déc. 2020)

Vroh B. T. A., Tiébré M. S., N'Guessan K. E., 2014
Diversité végétale urbaine et estimation du stock de carbone : cas de la commune du Plateau Abidjan, Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 10 (3) : 329-340.

Yao N. O., 2019
Dynamique et valeur écologique de la végétation en zone sub-soudanaise, département de Dianra, nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Doctorat de Systématique, Écologie et Biodiversité végétales, UFR Biosciences, université Félix Houphouet-Boigny, Cocody, Abidjan, 255 p.

Yongo O. D., 2003
Contribution aux études floristiques, phytogéographique et phytosociologique de la forêt de N'Gotto (République de Centrafrique). Résumé de thèse. *Acta Botanica Gallica*, 150 : 119-124.

Chapitre 11

Identification des zones importantes de conservation de la biodiversité au Burundi

Utilisation des spécimens d'herbier

Joël Ndayishimiye
Université du Burundi

Ezéchiel Ngendakumana
Université du Burundi

Mathias Hitimana
Université du Burundi

Jean Marie Vianney Manirakiza
Université du Burundi

Tatien Masharabu
Université du Burundi

Beth Kaplin
Université du Rwanda

Introduction

La diversité biologique est inégalement répartie sur l`ensemble du globe terrestre (Nicole *et al*., 2012). Grâce au développement des systèmes d'information géographique (SIG), la connaissance de la répartition de la biodiversité a progressé en Afrique et en particulier au Burundi (Ndayishimiye, 2011). Néanmoins, des études sont nécessaires pour mieux connaître cette répartition. Certaines zones demeurent en effet insuffisamment explorées et les connaissances sur la diversité spécifique restent fragmentaires à l'échelle de l'Afrique et en particulier au Burundi. Des études ont cependant été faites sur certaines familles dans le but d'analyser leurs modèles de répartition. Celles-ci ont été réalisées à des échelles spatiales plus grandes, comme l'Afrique centrale, ou même sur

l'ensemble du continent africain. On peut citer les travaux de Koffi *et al*. (2008) sur les Acanthaceae, ceux de Ndayishimiye (2011) sur les Fabaceae de l'Afrique centrale, de Droissart *et al.* (2012) sur les Orchidaceae et enfin les travaux de Tuo *et al*. (2017) sur les Rubiaceae de Côte d'Ivoire. Les principales conclusions de ces travaux montrent que des études à des échelles spatiales plus fines et sur plusieurs groupes taxonomiques sont nécessaires pour confirmer la concordance spatiale observée entre diversité spécifique et présence des espèces endémiques, et, *in fine,* pour identifier les zones de conservation.

Dans cette perspective, nous avons réalisé une étude à l'échelle du Burundi pour étudier les patrons de distribution de la richesse spécifique. L'objectif général de notre étude consiste à mettre en évidence les zones de haute diversité du Burundi sur la base des spécimens conservés dans l'*herbarium* de l'université du Burundi. Les spécimens d'herbier sont en effet de bons outils pour connaître la diversité spécifique d'une région (Figueira et Lages, 2019). Les objectifs spécifiques de notre étude étaient de connaître le degré d'exploration de la flore du Burundi et de cartographier les zones de plus grande diversité spécifique, évaluer la contribution des récolteurs à la connaissance de la flore du Burundi, évaluer l'exhaustivité de l'effort d'échantillonnage à l'aide des spécimens d'herbier. Les résultats issus de cette étude serviront de base pour orienter les inventaires floristiques à l'échelle du Burundi.

Matériels et méthodes

Base de données

Le matériel ayant servi à cette étude est constitué de 10 119 spécimens d'herbier qui sont conservés dans l'*herbarium* de l'université du Burundi (BJA). Il englobe uniquement une partie des spécimens de spermatophytes. Ces données ont été collectées sur tout le territoire national depuis la période d'exploration botanique au Burundi. En effet, la base de données exploitée contient des spécimens récoltés entre 1960 et 2012. Les éléments suivants ont été encodés dans la base de données : numéro d'identification de l'herbier, nom du récolteur, coordonnées géographiques, date de récolte, nom scientifique de l'espèce et localité de récolte. Cependant, certaines informations n'étaient pas renseignées sur les étiquettes d'herbiers.

Analyse des données

Pour cette étude, un système de maillage a été utilisé pour diviser le territoire national en mailles de forme carrée avec le logiciel Quantum GIS v.2.18 (http://www.qgis.org). Le choix de la taille d'une maille de 0,14°x 0,14°a été dicté par des études antérieures (Crisp *et al*., 2001 ; Koffi *et al*., 2008 ; Ndayishimiye *et al*., 2010 ; Ndayishimiye, 2011).

Une analyse des échantillons enregistrés chaque année de récolte a été réalisée. Cette analyse nous a permis de dresser une courbe cumulative du nombre de spécimens en fonction des années des prospections des travaux d'inventaires floristiques de terrain. La contribution des récolteurs a été appréciée en comptant le nombre d'échantillons qu'ils avaient récoltés individuellement. La diversité spécifique a été déterminée en comptant le nombre d'échantillons et le nombre d'espèces par maille. Cette analyse a montré la relation qui existe entre le nombre d'échantillons et la richesse spécifique. Ces données ont été cartographiées afin d'identifier les zones les plus échantillonnées et celles les plus riches. Une analyse de la répartition des collectes en fonction des mois de l'année a été faite. L'analyse de l'exhaustivité de l'échantillonnage a été réalisée grâce au logiciel EstimateS v.9.1.0 (Colwell, 2013). Les courbes d'accumulation de la richesse spécifique obtenues ont permis de prédire la nécessité, ou non, de réaliser d'autres inventaires.

Résultats

Analyse du degré d'exploration botanique au Burundi

La base de données réalisée comprend 10 119 échantillons répartis en 191 familles, 993 genres et 1 779 espèces. Ces données ne couvrent qu'une petite partie des herbiers conservés dans notre *herbarium*. Les récoltes de ces spécimens ont eu lieu entre 1960 à 2012, avec une période très intense d'exploration botanique entre 1970 et 1981 (fig. 1). Les explorations ont ensuite continué avec un rythme moins soutenu.

Figure 1
*Enrichissement de l'*herbarium *de l'université du Burundi en spécimens cumulés au cours du temps.*

Analyse de la contribution des récolteurs

L'analyse de la base de données indique une centaine de collecteurs qui ont contribué aux inventaires botaniques au Burundi. Néanmoins, dix seulement ont récolté au moins 90 échantillons. La principale contribution revient à M. Reekmans avec 6 889 échantillons (76,93 % de l'ensemble des récoltes), suivie de celle de J. Caljon (avec 549 spécimens, soit 5 %) et de P. Ndabaneze (avec 476 spécimens, soit 4,7 %). Enfin, 299 herbiers n'indiquent pas le nom des récolteurs (SR), soit 2,9 % des collections. Cent-trente récolteurs ont collecté moins de dix échantillons.

Identification des zones de haute diversité

L'analyse de la distribution spatiale des données montre que l'échantillonnage n'est pas uniforme à l'échelle du Burundi (fig. 4). Certaines zones ont été suffisamment explorées, alors que d'autres le sont moins. Les zones de grandes concentrations des récoltes sont observées dans la plaine de la Rusizi, à proximité de la ville de Bujumbura, une partie du parc national de la Kibira et dans les parties sud et est du pays. Le nombre d'échantillons varie de 1 à 2 352 échantillons par maille de 0,14° × 0,14°. Si on se réfère à la carte des aires protégées du Burundi, on constate que ces zones correspondent aux aires protégées.

Les mailles montrant la plus grande richesse spécifique (fig. 2A) sont également celles les plus prospectées, en se référant à la figure qui illustre la répartition des échantillons d'herbier récoltés entre 1965 et 2012 (fig. 2B). Les parties centre et nord-est du Burundi montrent une faible diversité spécifique. Ces zones correspondent aux régions avec une densité plus élevée de population.

On remarque cependant que peu de mailles ont été suffisamment explorées (fig. 3). En effet, sur les 136 mailles qui couvrent le Burundi, 28 contiennent plus de 100 espèces, soit 20 %. Ces résultats montrent qu'une grande partie de la richesse spécifique est concentrée sur une petite zone qui a été suffisamment échantillonnée par rapport au reste du Burundi.

Évaluation de l'exhaustivité d'échantillonnage

Les résultats de l'évaluation de l'exhaustivité de l'effort d'échantillonnage sont présentés dans la figure 4. Cette courbe d'accumulation de la richesse spécifique montre que plus on échantillonne, plus le nombre d'espèces identifiées augmente. La courbe n'a pas encore atteint son asymptote ; il est donc fort probable de découvrir encore de nouvelles espèces au Burundi. Cela est d'autant plus vraisemblable qu'une grande partie du territoire national n'a pas été prospectée (cf. *supra)*.

Figure 2

Les zones de grandes concentrations des collections et de haute diversité.
A. Répartition de la richesse spécifique au Burundi.
B. Répartition des échantillons de l'herbier récoltés entre 1965 et 2012.

Figure 3

Relation entre la richesse spécifique et la densité de récolte.

Types de biais contenus dans les herbiers

D'après les résultats, les explorations botaniques se sont déroulées tout au long de l'année. Les mois de septembre, décembre, janvier, avril, mai et juin, sont caractérisés par des explorations intensives (fig. 5). En effet, les mois d'avril et de mai correspondent aux pics de floraison et de fructification de la majorité des plantes de la région d'étude, ce qui facilite l'identification des plantes par les chercheurs/récolteurs.

Figure 4

Courbe cumulée de la richesse spécifique en fonction de l'effort d'échantillonnage.

Les résultats ont été générés avec le logiciel EstimateS.

Figure 5

Répartition de l'effort d'échantillonnage en fonction des mois de l'année au Burundi.

Réalisé à partir des spécimens de l'*herbarium* de l'université du Burundi récoltés entre 1960 et 2012.

Discussion

Les données utilisées pour cette étude sont issues des résultats de prospection botanique qui ont eu lieu de 1960 à 2012. L'intervalle de 1970 à 1980 montre un pic des prospections (fig. 1). Selon la littérature, cette période correspond à d'intenses missions de prospection des chercheurs belges en Afrique. Ces résultats corroborent ceux de Ndayishimiye (2011) qui a obtenu les mêmes résultats en étudiant la distribution des Fabaceae d'Afrique centrale. Toutes ces collections ont été effectuées par 134 récolteurs dont M. Reekmans qui arrive en premier avec 76,93 % des échantillons récoltés et conservés à BJA. Par ailleurs, les explorations se sont déroulées tout au long de l'année : les mois les plus explorés sont, par ordre décroissant, mai, avril, septembre, juin, janvier et décembre (fig. 5). Mai et avril correspondent aux mois de fructification alors que juin coïncide avec le début des vacances, d'où une plus faible activité d'échantillonnage. Les explorations intenses en septembre s'expliquent par le début de la reprise de la saison des pluies, après une longue période de sécheresse.

Partant du principe que la richesse spécifique dans chaque maille révèle le niveau de prospection (Tuo *et al.*, 2017 ; Koffi *et al.*, 2017), on constate que certaines mailles ont été bien explorées, d'autres l'ont moins été (fig. 2).

Les mailles les plus prospectées se situent dans la partie occidentale, sud et est du Burundi. En effet, la répartition de la richesse spécifique coïncide avec celle des aires protégées et se situe à proximité des routes et des centres de recherche. Il existe donc un artefact de l'échantillonnage. Ces résultats sont validés par d'autres études sur des spécimens d'herbier (Koffi *et al.*, 2008 ; Ndayishimiye, 2011). La richesse spécifique de la partie occidentale du Burundi est due à sa localisation dans le rift Albertin, une zone de *hot spots* caractérisée par un endémisme plus élevé (Kanyamibwa, 2013). Cette zone d'Afrique de l'Est nécessite une attention particulière car elle abrite plus de 50 % d'espèces d'oiseaux, 39 % de mammifères, 19 % d'amphibies, 14 % de reptiles et 14 % de plantes à l'échelle de l'Afrique (soit 5 793 espèces de plantes, Plumptre *et al.*, 2003).

Le reste du territoire, le nord-est et le centre du Burundi, se caractérise par un faible effort d'échantillonnage. Ces résultats montrent qu'il existe des régions bien connues, d'autres moyennement ou mal connues (Billand, 2005 ; Koffi *et al.*, 2008 ; Ndayishimiye *et al.*, 2013). Du point de vue de la diversité spécifique, peu de mailles montrent une diversité élevée, soit 22 sur 28 mailles identifiées comme étant suffisamment explorées (fig. 4). Les mailles suffisamment explorées ne sont pas nécessairement les plus riches (Vallet *et al.*, 2012). L'effort d'échantillonnage est encore insuffisant (fig. 5) puisque, en continuant à échantillonner, on collecte encore d'autres espèces. Ceci corrobore la théorie de la biogéographie des îles (Gros-Desormeaux *et al.*, 2015 ; Robert *et al.*, 2019). Ainsi, même s'il est très difficile de réaliser un inventaire national complet (Chevalier *et al.*, 2010), des travaux d'exploration sont nécessaires dans les

zones insuffisamment explorées afin de confirmer la présence de nouvelles espèces au Burundi. D'autres types d'études taxonomiques sont également nécessaires pour, notamment, améliorer la connaissance sur les affinités des taxons du Burundi.

En plus d'être un inventaire sur l'ensemble du territoire burundais, cette étude pourrait également servir d'outil de planification des travaux d'exploration et de conservation. L'exploration botanique de l'Afrique tropicale est loin d'être achevée (Sosef *et al*., 2017).

Conclusion et perspectives

La conservation de la biodiversité nécessite une bonne connaissance de la répartition des espèces. Cette étude utilise des spécimens d'herbier comme outil d'identification des zones de haute diversité floristique. Elle fournit les éléments de base pour planifier la conservation de la diversité botanique du Burundi en se focalisant sur les zones de concentration de cette diversité. La carte de distribution des échantillons montre que la prospection botanique n'a pas été uniforme sur l'ensemble du territoire. Par ailleurs, les données utilisées contiennent des biais et leur interprétation doit être faite avec précaution. Les récoltes ont été souvent menées dans les sites faciles d'accès.

Les données utilisées dans cette étude sont celles conservées uniquement dans l'*herbarium* de l'université du Burundi. Il est nécessaire de les combiner avec celles conservées au nord du pays, surtout dans l'*herbarium* du jardin botanique de Belgique à Meise. De nouveaux inventaires pourraient compléter cette base de données et de nouvelles prospections pourraient être organisées dans les zones dont l'accès est difficile, afin d'augmenter le niveau de connaissance de la diversité floristique. Cette base de données ainsi complétée pourrait servir *in fine* de référence pour élaborer un catalogue de la flore du Burundi.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) qui a financé le projet sur la digitalisation et le renouvellement des collections de référence de l'*herbarium* de l'université du Burundi. Grâce à ce projet, une partie de la base de données a été rendue accessible et pourra continuer à être valorisée.

Références bibliographiques

Billand A., 2005
Biodiversité dans les forêts d'Afrique centrale : panorama des connaissances, principaux enjeux et mesures de conservation. *Source* : 63-94.

Chevalier R., Gautier G., Archaux F., 2010
Relevés floristiques pour le suivi de la biodiversité végétale des écosystèmes forestiers : éléments de réflexion pour faire les bons choix. *Revue forestière française*, 2 : 141-154.

Colwell R. K., 2013
EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Available at: http://purl.oclc.org/estimateS.

Crisp M. D, Laffan S, Linder H. P., Monro A., 2001
Endemism in the Australian flora. *Journal of Biogeography*, 28 : 183-198.

Droissart V., Hardy O. J., Sonke B., Dahdouh-Guebas F., Stevart T., 2012
Subsampling herbarium collections to assess geographic diversity gradients: a case-study with endemic Orchidaceae and Rubiaceae in Cameroon. *Biotropica,* 44 (1) : 44-52.

Figueira R., Lages F., 2019
« Museum and herbarium collections for biodiversity research in Angola ». *In* Huntley B., Russo V., Lages F., Ferrand N. (eds) : *Biodiversity of Angola*. Springer, Cham.

Gros-Desormeaux, J. R., Tupiassu L., Bastos R. Z., 2015
L'île et le vivant revisités dans la théorie de la biogéographique insulaire : les symptômes du syndrome d'insularité. *Revista Geoamazônia*, 3 (5) : 200-210. https://doi.org/10.17551/2358-1778/geoamazonia.v3n5p200-210

Kanyamibwa S., 2013
Albertine rift conservation status Report. *Albertine rift conservation series*, 1. Arcos Network. 1 : 1-103.

Koffi K. J., Champluvier D., Robbrecht E., El Bana M., Rousseau R., Bogaert J., 2008
« Acanthaceae species as potential indicators of phytogeographic territories in Central Africa ». *In* Dupont A., Jacobs H. (eds.) : *Landscape ecology research trends*. Nova Science Publishers.

Koffi K-J., Kouassi A.-F., Adou Yao C.-Y., Bakayoko A., Ipou I. J., Bogaert J., 2017
The present state of botanical knowledge in Côte d'Ivoire. *Biodiversity Informatics*, 10, 2015 : 56-64.

Ndayishimiye J., Sibomana S., Bigendako M. J, Lejoly J., Bogaert J., 2010
Diversité et distribution géographique des légumineuses de la flore du Burundi. *Bulletin scientifique de l'Institut national pour l'environnement et la conservation de la nature (INECN)*, 8 : 16-21.

Ndayishimiye J., 2011
Diversité, endémisme, géographie et conservation des Fabaceae de l'Afrique centrale. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles.

Ndayishimiye J., Stoffelen P., Bigendako M. J., Lejoly J., De Canniere C., Bogaert J., 2013
Détermination des zones potentielles de conservation de la biodiversité : un aperçu sur l'approche méthodologique basée sur la diversité spécifique et les espèces endémiques. *Bulletin scientifique de l'Institut national pour l'environnement et la conservation de la nature (INECN)*, 11 : 20-30.

Nicole D. G.-C., Adrian M., Shawn M. C. G., Bereket K., Munyarukaza J., 2012
Payments for ecosystem services in an African protected area: exploring issues of legitimacy, fairness, equity and effectiveness. *Oryx*, 46 (1) : 24-33.

Plumptre A. J., Behangana M., Ndomba E., Davenport T., Kahindo C., Kityo R., Ssegawa P., Eilu G., Nkuutu D., Owiunji I., 2003
The biodiversity of the Albertine rift. Albertine Technical Report Series, 3. Wildlife Conservation Society, New York.

Sosef M. S. M., Dauby G., Blach-Overgaard A., Van Der Burgt X., Catarino L., Damen T., Deblauwe V., Dessein S., Dransfield J., Droissart V., Duarte M. C., Engledow H., Fadeur G., Figueira R., Gereau R. E., Hardy O. J., Harris D. J., De Heij J., Janssens S., Couvreur T. L. P., 2017
Exploring the floristic diversity of tropical Africa. *BMC Biology*, 15 (1) : 1-23.

Robert A., Langagne T., Melo T., Gardette V., Julien S., Covas R., Gomez D., Doutrelant C., 2019
The theory of islands biogeograph and soundscapes: species, diversity and the organisation of acoustic communities. *Journal of Biogeography*, 46 : 1901-1911.

Thiers B., 2016
Index herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff. New York botanical garden's virtual herbarium. http://sweetgum. nybg.org/ih

Tuo F. N., Koffi K. J., Kouassi A. F., Kone M., Adama B., Bogaert J., 2017
Étude de la diversité, de l'endémisme et de la distribution spatiale des Rubiaceae de Côte d'Ivoire. International *Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (2) : 777.

Vallet J., Rambaud M., Coquel L., Poncet L. F. H., 2012
Effort d'échantillonnage et atlas floristique. Exhaustivité des mailles et caractérisation des lacunes dans la connaissance. *Comptes rendus-Biologies*, 335 (12) : 753-763.

Partie II

Valoriser la biodiversité

Graines pour préparations médicales sur le marché de Kpalimé, Togo.
© IRD/C. Brun

Introduction

Claire Billot
Cirad, France

Véronique Rossow
Consultante internationale, France

« Valoriser la biodiversité » revêt une signification différente selon le contexte dans lequel cette notion est employée, mais également selon le profil de chacun. Communément, il s'agit d'ajouter de la valeur à une ressource, à un ensemble de ressources, ou à un écosystème entier, au travers de diverses activités dont la recherche, et qui s'accompagnent d'une évaluation multicritère. Par habitude, cette action est plus fréquemment entendue sous un angle strictement économique (valeurs d'usage ou d'échange) dans lequel la valeur « d'être », non monnayable reste silencieuse.

Dans le *Manuel d'évaluation de la biodiversité. Guide à l'intention des décideurs*[1] de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) publié en 2002, sont détaillées les diverses valeurs que la biodiversité peut revêtir. Deux notions opposables y sont également mises en exergue : l'anthropocentrisme, dont la valeur est fondée sur l'intérêt d'usage ou l'intérêt commercial, et l'anthropogénisme, pour laquelle la valeur intrinsèque est prise en compte quel que soit le degré de l'intérêt d'usage. Cette double considération « valeur d'être/valeur d'usage » revêt une importance particulière dans le contexte du programme Sud Expert Plantes Développement Durable (SEP2D). En effet, un usage durable de la biodiversité, incluant la conservation, est promu dans les projets de recherche soutenus par SEP2D en Asie du Sud-Est et en Afrique francophone. Quelles que soient les recherches, à but commercial direct ou indirect, la valeur intrinsèque de la ressource est *de facto* prise en compte.

1. https://doi.org/10.1787/9789264275799-fr

Cette partie rassemble des textes dont la diversité des sujets illustre comment l'homme peut valoriser des ressources végétales ou fongiques pour répondre à une multitude de besoins. Il s'agit ici de mettre en évidence des usages de produits issus de la biodiversité pouvant conduire à une valorisation commerciale à plus grande échelle et pouvant générer des revenus plus réguliers. Les exemples présentés montrent les potentialités importantes de développement économique et social associées à la valorisation de la diversité.

Dans un premier temps, il s'agit de répertorier la diversité existante et déjà utilisée par les populations locales (par exemple, les plantes hépatoprotectrices du Burkina Faso ou les champignons comestibles de Côte d'Ivoire ou encore ceux du parc de Kahuzi-Biega en République démocratique du Congo). On peut ensuite identifier les propriétés à l'origine d'une valorisation commerciale possible (par exemple les propriétés antifongiques et antibactériennes d'extraits de *Pleurotus tuber-regium*), notamment celles qui présenteront des adaptations pertinentes dans un contexte de changement climatique (comme l'analyse des traits phénologiques spécifiques du sous-genre *Baracoffea* des caféiers sauvages malgaches) ou celles qui ont des caractéristiques technologiques adaptées aux usages ciblés (comme les huiles servant de biocarburant des *Millettia* malgaches), voire celles qui nécessitent des développements technologiques post-récoltes (comme pour le séchage des graines de *Millettia pinnata*). Ces connaissances sont nécessaires au développement de chaînes de valeurs prometteuses. Mais une fois celles-ci établies, il convient d'en assurer la durabilité, par la gestion (conservation, régénération, maintien de la diversité) des ressources nécessaires, par exemple celles à la base de productions artisanales (bois de fabrication des mortiers et pilons au Bénin, raphières à Madagascar) ou les plantes mellifères. Enfin, il faut aussi assurer la stabilité des produits transformés, comme par exemple le poivre *tsiperifery* de Madagascar, dont les qualités gustatives sont désormais reconnues internationalement, mais dont l'hétérogénéité de phénologie des poivriers impacte la qualité des baies.

D'autres valeurs sont très souvent associées à l'utilisation ou à la valorisation des plantes et participent des relations complexes et intimes que les sociétés humaines entretiennent avec la nature. La biodiversité est aussi façonnée par les relations culturelles, voire cultuelles, que les humains construisent et entretiennent avec leur écosystème naturel. La Convention sur la diversité biologique (CDB) a rappelé la nécessité de prendre en compte l'évaluation des aspects économiques, sociaux, culturels et éthiques dans la définition de mesures incitatives pertinentes (voir par exemple les méthodes d'évaluation de la biodiversité présentées dans le numéro 28 de la série *CBD Technical series*[2].

Contribuant à une plus grande équité entre États « utilisateurs » et États « fournisseurs », notamment ceux dont le patrimoine en biodiversité est très riche et nécessite énormément de moyens techniques et financiers pour pouvoir le conserver, et afin de prévenir toute forme de biopiraterie, le protocole de

2. https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-28.pdf

Nagoya a été signé en 2010, puis ratifié en octobre 2014. Transposé en droit national, le protocole réglemente l'accès aux ressources génétiques pour leur utilisation, ainsi que le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation (APA). Le programme SEP2D a été au cœur de sa mise en œuvre, en premier lieu, par la sensibilisation de nombreuses parties prenantes alors que le protocole n'était pas encore opérationnel dans tous les pays partenaires du programme et, en second lieu, sans doute le plus important, en illustrant le rôle central que joue la recherche dans une démarche de valorisation anthropogénique. Plusieurs exemples de ce corpus illustrent différentes facettes des recherches sur lesquelles les décideurs politiques peuvent s'appuyer pour développer leur stratégie nationale, qui lie politiques de conservation et politiques de développement socio-économique.

Le programme SEP2D, opérant sur l'Afrique, l'océan Indien et l'Asie du Sud-Est, souligne l'énorme potentiel de développement de nouveaux produits issus de la biodiversité locale, dans lequel Madagascar, par son caractère insulaire et sa « mégadiversité », tient une place importante. Une autre caractéristique de ces régions du globe est la part importante du financement public qui y soutient les recherches, nécessitant de travailler plus avant les interactions public-privé autour de la valorisation de la biodiversité. C'est aussi un des enjeux du protocole de Nagoya : ouvrir des espaces de discussion afin que les politiques de développement local soient mieux adaptées aux besoins d'exploitation et de développement.

Enfin, cette partie met également en avant le rôle de médiation scientifique des chercheurs envers la société, afin qu'elle puisse s'approprier les connaissances produites dans le respect des droits liés à la propriété intellectuelle. Ce rôle est tout particulièrement visible avec cette thématique de la valorisation de la diversité. En cela, la recherche participe à la production d'une richesse scientifique et d'une mise en valeur autant économique que sociale.

Les questions de l'accès aux connaissances, de la propriété intellectuelle et des choix éthiques associés sont centrales dans l'APA, et la mise en œuvre du protocole de Nagoya oblige les différents acteurs à se confronter à ces sujets, peu familiers pour les uns, contraignants pour les autres, avec des mises en pratique souvent complexes.

La recherche est alors force de proposition, et ce de différentes manières. Elle propose tout d'abord des espaces de concertation entre acteurs. Par la légitimité d'un savoir et d'une expertise socialement et institutionnellement reconnue, elle assure des ponts entre ressources, savoirs et utilisations et, surtout, entre les différents acteurs concernés. En assurant des liens avec des opérateurs privés, en traduisant scientifiquement des connaissances traditionnelles, en construisant des passerelles entre science et valorisation, les chercheurs sont des acteurs à part entière du processus de concertation menant à la mise en œuvre de l'APA.

La recherche est aussi un lieu où se construisent des propositions d'évolution des pratiques et, en conséquence, des réglementations. En tant qu'experts, les chercheurs élaborent des recommandations auprès des autorités nationales et

internationales. Citons l'actuelle construction d'une expertise internationale autour de l'évolution du climat (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Giec), de la biodiversité (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, IPBES), ou encore de la sécurité alimentaire et nutritionnelle (Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition, HLPE). La recherche porte désormais une responsabilité sociétale reconnue qui conduit à des changements de posture : les chercheurs n'ont plus la seule mission de produire des connaissances, ils deviennent aussi les acteurs des nouvelles modalités de gouvernance des ressources et de leur valorisation, participant ainsi à la mise en place de modèles économiques et de processus « transformatifs ».

Références bibliographiques

Convention on Biological Diversity, 2007
An exploration of tools and methodologies, for valuation of biodiversity and biodiversity, resources and functions. CBD Technical series, 28.

Commission de l'Union Africaine, 2015
Lignes directrices pratiques de l'Union africaine pour la mise en œuvre coordonnée du Protocole de Nagoya en Afrique. UA, Addis-Ababa, 92 p.

OCDE, 2002
Manuel d'évaluation de la biodiversité. Guide à l'intention des décideurs. Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 173 p. https://doi.org/10.1787/9789264275799-fr

Plantes alimentaires et médicinales

Chapitre 12

Compétitivité des chaînes de valeurs des jus de *Borassus æthiopum* et *Saba senegalensis* au sud du Mali

Siaka Drissa Traoré
IER, Mali

Amadou Malé Kouyate
IER, Mali

Urbain Dembélé
IER, Mali

Abasse Tougiani
Inran, Niger

Ibrahim Samaké
IPR/Ifra, Mali

Introduction

Le Mali est un pays essentiellement agricole, classé parmi les pays les plus pauvres du monde avec un faible indice de développement humain (IDH), qui a évolué de 0,344 en 2012 (Pnud, 2013) à 0,442 en 2015, et un indice de pauvreté multidimensionnelle évalué à 0,456 en 2015 (Pnud, 2016). Le secteur rural occupe une place prépondérante dans le développement socio-économique du Mali en assurant des revenus à environ 75 % de la population et en contribuant à 39,12 % du produit intérieur brut (PIB) (Instat, 2017). Ce contexte est également marqué par une volonté politique d'apporter des réponses appropriées aux questions d'insécurité alimentaire et de pauvreté des populations, telles que la promotion d'un certain nombre d'espèces forestières locales.

Les ressources de cueillette constituent une part importante des revenus non agricoles des exploitations rurales et devraient, à ce titre, être étudiées et

valorisées afin de contribuer à l'atteinte de la souveraineté alimentaire. Au Mali, les produits forestiers non ligneux (PFNL) représentent 8,5 % de la valeur ajoutée du secteur agricole (Instat, 2013) et 54 % de ces produits sont utilisés dans l'alimentation (Gakou *et al.*, 1994). Parmi les espèces qui fournissent des PFNL, *Borassus æthiopum* et *Saba senegalensis* sont largement répandues dans les régions intertropicales et constituent une ressource exploitable dont l'accessibilité et la valorisation pourraient être améliorées. Les genres *Borassus* et *Saba* poussent naturellement dans les régions tropicales où ils sont domestiqués et cultivés pour de multiples usages sociaux et économiques. Aussi, ces genres sont répandus dans de nombreux pays d'Afrique et d'Asie (Inde). Cette ressource participe déjà à la diversification alimentaire mais elle pourrait l'être davantage grâce à une meilleure commercialisation des produits finis. Selon Senou et Ongoiba (2014), la commercialisation des fruits de *Borassus* au sud du Mali contribue à 10 % des revenus non agricoles des ménages. L'utilisation de son jus pour sucrer les bouillies est devenue une habitude des ménages pour lutter contre la malnutrition. Concernant *Saba senegalensis*, l'enjeu commercial est très élevé dans le sud du Mali du fait de la présence des exportateurs sénégalais.

Si leurs utilités économiques, financières et leurs valeurs sociosanitaires sont bien connues et exploitées traditionnellement, les chaînes de valeurs des jus de *Borassus æthiopum* et de *Saba senegalensis* demeurent peu documentées au Mali. Aussi ce préalable est nécessaire pour accompagner une meilleure commercialisation de ces produits. Pour atteindre ces objectifs, la présente étude se propose d'analyser la rentabilité et la compétitivité des chaînes de valeurs du jus de *Borassus æthiopum* et de *Saba senegalensis* dans la zone Mali-Sud en utilisant l'approche de la matrice d'analyse des politiques. De façon spécifique, l'étude cherche à mettre en évidence l'avantage comparatif des exploitants à produire des jus.

Matériels et méthodes

Zone d'étude

La zone d'étude couvre la région administrative malienne de Sikasso (12°30' latitude Nord et 8°45' longitude Ouest). Elle a été choisie du fait du « paradoxe » qui la caractérise et qui se traduit par son fort taux de malnutrition malgré une forte production agricole (Dury et Bocoum, 2012).

Les travaux ont été réalisés dans les zones agroécologiques soudanienne et guinéenne de la région de Sikasso suivant la classification de White (1983), et qui correspondent aux zones climatiques soudaniennes Nord et Sud et guinéenne Nord (Pirt, 1983).

Les villages étudiés ont été choisis en fonction de trois critères : l'accessibilité, la disponibilité des ressources ligneuses alimentaires, le niveau élevé de la malnutrition et la présence d'un projet de lutte contre la malnutrition. Au total, trois villages ont été retenus pour l'étude : Sorobasso, Kalifabougou et Kodialan (fig. 1).

Figure 1
Localisation des villages d'étude.
Source : MDRI, Treefood. Réalisation : Abdoul Kader Koné. IER/CRRA-Sikasso, sept. 2017.

Choix de l'échantillon

Le choix de l'échantillon des personnes interviewées s'est déroulé en deux étapes : la première a consisté à identifier les différents acteurs des chaînes de valeurs par espèce et la seconde étape à sélectionner les acteurs volontaires pour constituer les deux échantillons. Au final, un échantillon de 54 exploitantes, 60 transformatrices et deux commerçants, a été retenu pour *Borassus æthiopum* et un échantillon de 46 exploitantes, 59 transformatrices et dix commerçants pour *Saba senegalensis*. Ces personnes ont été choisies sur la base du volontariat et de leurs connaissances des plantes, lors de l'assemblée générale présidée par les chefs de villages.

Les informations collectées ont porté sur les quantités de fruits collectés, vendus et transformés, les techniques de stockage et conservation des fruits, le marché, les prix et la structure des prix, l'approvisionnement et la qualité des fruits, les équipements et les investissements, le comportement du marché et la stratégie, le marché et la commercialisation du jus, le marché et la commercialisation des fruits, le système d'information entre les acteurs.

Analyse des données

Les données collectées ont été saisies sur Access, puis exportées sur Excel. Elles ont été traitées avec les tableurs Excel et SPSS (version 23). Elles ont été analysées grâce à la statistique descriptive (fréquence, moyenne) et l'analyse de variance.

Pour chaque variable, la fréquence de citation (F) a été calculée à partir de la formule suivante :

$$\mathrm{F}(\%)\frac{S}{N}\times 100$$

où S est le nombre de personnes ayant fourni une réponse et N le nombre total de personnes interviewées.

Puis, la quantité moyenne d'un sac de 50 kg de fruits de *Borassus æthiopum* et de *Saba senegalensis* (X) a été calculée par la formule suivante :

$$\mathrm{X} = \frac{\sum_i^n Q_i}{\mathrm{N}}$$

où Qi est la quantité de fruits et N le nombre de sacs.

Les coûts moyens (X) d'achat des fruits (en francs de la Communauté financière en Afrique, F CFA) ont été calculés par la formule suivante :

$$x = \frac{\sum_i^n Q_i PU_i}{\mathrm{N}}$$

où Qi est la quantité de fruits, PUi le prix unitaire de vente et N la taille de l'échantillon.

Le produit brut en valeur (PBV) (F CFA) a été calculé par la formule :

$$\mathrm{PBV} = \mathrm{Qt} * \mathrm{PU}$$

où Qt est la quantité du produit et PU son prix unitaire.

La valeur ajoutée (VA) a été calculée (F CFA) par la formule :

$$\mathrm{VA} = \mathrm{MB} = \mathrm{PBV} - \mathrm{CI}$$

où MB est la marge brute, PBV le produit brut en valeur et CI la consommation intermédiaire (charge variable).

Le coût variable (*CV*) (F CFA) est donné par la formule :

$$CV = \sum_{i}^{n} Qv_i PU_i$$

où *Qvi* est la quantité de l'intrant *i*, *PUi* le prix unitaire de l'intrant *i*, et *n* le nombre d'intrants utilisés dans la production du produit considéré.

Le coût fixe (*CF*) est donné (en F CFA) par la formule :

$$CF = \sum_{i}^{n} Qf_i PU_i$$

où *Qfi* est la quantité de l'intrant *i*, *PUi* le prix unitaire de l'intrant *i*, et *n* le nombre d'intrants utilisés dans la production du produit considéré.

Le taux de rentabilité (*TR*) a été calculé par la formule :

$$TR = MB/CV$$

où *MB* est la marge brute et *CV* la charge variable.

Cadre d'analyse

L'approche de la chaîne de valeurs est une démarche qui permet de mieux apprécier les effets des politiques de prix sur un secteur ou une chaîne de valeurs. L'approche par la matrice d'analyse des politiques (MAP), en utilisant les comptes d'exploitation des acteurs de la chaîne de valeurs, permet de les modéliser. La MAP permet d'évaluer toutes les conséquences des politiques sur les revenus et les coûts de production agricole (Balassa, 1978 ; Monke et Pearson, 1989). La MAP est un outil de représentation d'un système de production simple ou complexe, reposant sur la construction de comptes de production des acteurs représentatifs du système dans deux systèmes de prix, à savoir les prix de marché et les prix de référence (Balassa, 1970 ; Lançon, 2000).

La matrice est construite sur le même principe que la formation d'un budget. Le modèle est composé de deux types de budgets : un budget évalué au prix du marché, ou prix financiers ou encore prix privés (budget financier), et l'autre aux coûts d'opportunité social, ou prix économique (budget économique). Les prix du marché (ou prix financiers ou prix privés) sont les prix des produits tels qu'ils sont perçus sur le marché par les consommateurs. Les prix de référence (ou coût d'opportunité ou prix de la collectivité) sont des prix qui prévaudraient en l'absence de distorsions et imperfections sur les marchés des intrants et des produits. Ensuite, les divergences entre le budget financier et le budget économique ont été calculées. Les deux types de budget sont construits pour chaque système de production qui contribue aux ressources. De façon pratique, dans la MAP les coûts des facteurs de production et les recettes sont classés ou désagrégés en leurs composants échangeables et non échangeables, et les revenus, coûts et avantages sont évalués en utilisant les prix de marché (privé) et les prix

de référence (sociaux) (Yao, 1997, cité par Kroma et Lamien, 2017). Les intrants échangeables incluent les biens qui peuvent être échangés sur le marché international tels que les engrais et les machines agricoles, et les intrants non échangeables sont des facteurs principalement domestiques qui ne sont pas échangés internationalement (le travail par exemple). Cependant, il faut noter que la plupart des intrants sont un mélange de composants échangeables et non échangeables. La MAP apparaît donc comme un outil d'aide à la décision et de prévision pour les planificateurs grâce aux résultats des scénarii qui éclairent les mécanismes à l'œuvre (Fabre, 1994, cité par Kroma et Lamien, 2017). Le tableau 1 donne une représentation schématique de la MAP. À partir de la MAP, un certain nombre d'indicateurs entrant dans le cadre de la présente étude ont été dérivés.

Tableau 1
Structure de la matrice d'analyse des politiques (MAP).

	Produits ou recettes	Coût des facteurs échangeables	Coût des facteurs non échangeables	Profit
Prix financier	A	B	C	D
Prix économique	E	F	G	H
Divergence	I	J	K	L

Adapté de Monke et Pearson, 1989 : 19.

Indicateurs de la rentabilité financière et économique

Trois types d'indicateurs ont été calculés. Il s'agit des indicateurs de rentabilité (financière et économique), de l'avantage comparatif et des mesures d'incitation.

La notion de rentabilité paraît en première analyse très simple : le capital génère un profit, et le rapport entre le capital et le profit se traduit donc par un taux de rentabilité. La rentabilité représente alors l'évaluation de la performance des ressources investies par des investisseurs. Monke et Pearson (1989) définissent la rentabilité (profitabilité) comme étant la différence entre le revenu perçu et les coûts payés par un acteur économique au prix (souvent faussé) du marché interne. Le calcul du bénéfice financier montre la compétitivité d'un système de production et où concentrer les ressources privées, ou d'une exploitation, étant donné la technologie disponible et les prix en cours sur le marché. Le bénéfice financier est un indicateur de compétitivité. En plus du bénéfice financier, le taux de rentabilité est un indicateur qui rentre en ligne de compte dans la définition de la rentabilité financière. Le bénéfice économique est la différence entre un revenu et des coûts calculés sur des prix économiques (c'est-à-dire après avoir ajusté les distorsions dues aux politiques, etc.). Le calcul du bénéfice économique est une mesure de l'avantage comparatif de la région de production par rapport au commerce international. Quand on le compare avec les bénéfices économiques d'une même chaîne de valeurs dans d'autres régions, on peut savoir jusqu'à quel point une chaîne de valeurs serait compétitive si les

prix étaient modifiés (en réduisant les subventions, ou en modifiant les restrictions à l'importation par exemple).

La rentabilité privée nette (*RPN*), ou le bénéfice financier net (*BFN*), est calculée de la façon suivante :

$$BFN_J = P_J - \sum_i (aij*Pi) - \sum_S (Fsj*Ps)$$

où *Pj* est le produit brut au prix financier,

$\sum_i (aij*Pi)$ est la charge variable au coût financier,

$\sum_S (Fsj*Ps)$ est la charge fixe au coût financier.

La rentabilité sociale nette, ou le bénéfice économique net (*BEN*), est calculée par la formule :

$$BEN_J = P_J^* - \sum_i (P_i^* * a_{i,j}) - \sum_x (P_s^* * F_{s,j})$$

Indicateurs de l'avantage comparatif

Il existe plusieurs indicateurs de l'avantage comparatif, cependant il apparaît plus aisé d'utiliser le ratio de coût en ressource domestique (CRD) déduit à partir du BEN modifié de façon à ce que les unités se neutralisent (le CRD est sans unité). À partir de la formule de la rentabilité social net (BEN), on peut déduire celle du *CRD* par la formule suivante :

$$CRD_j = \frac{\sum_s \left(P_s^* * F_{s,i}\right)}{P_J^* - \sum_i (P_i^* * a_{i,j})}$$

où

$\sum_s \left(P_s^* * F_{s,i}\right)$ est la charge fixe aux prix éceonomique et

$P_J^* - \sum_i (P_i^* * a_{i,j})$, le produit brut au prix économique – charge variable au prix économique.

Indicateurs de mesure des incitations à la production

Les subventions à la production, la fixation des prix aux producteurs, la fixation des prix des intrants, les incitations directes, les coûts de l'encadrement, sont autant de mesures d'incitation créées par l'État et qui ont des effets sur les prix des produits et des intrants de la production. Pour cela, il y a plusieurs indicateurs qui permettent de les quantifier mais seuls les trois les plus utilisés ont été retenus, à savoir : le coefficient de protection nominale (CPN), le coefficient de protection nominal sur les intrants (CPN/i), le coefficient de protection effective (CPE).

Le *CPN* (en F CFA) est calculé de la façon suivante :

$$\frac{CPN}{i_j} = \frac{\sum_i a_{i,j} * P_i \left(\text{en CFA}\right)}{\sum_i a_{i,j} * P_J^* \left(\text{en CFA}\right)}$$

Avec

$\sum_i (aij*Pi)$: charge variable au coût financier,

$\sum_i (aij*Pj*)$: charge variable au coût soucial.

Ce coefficient permet de mesurer les effets de protection sur le prix d'un bien produit localement. Il détermine le rapport entre le prix local du produit (*CPE*, en F CFA) qui est calculé par la formule :

$$CPE = \frac{\text{Valeur ajoutée aux prix interieurs} \left(\text{en F CFA}\right)}{\text{Valeur ajoutée aux prix internationaux} \left(\text{en F CFA}\right)} = \frac{P_J - \left(\sum_i a_{i,j} * P_i\right)}{P_J^* - \left(\sum_i a_{i,j} * P_j^*\right)}$$

Le coefficient de production nominale sur les intrants (*CPN/i*) est ensuite calculé de la façon suivante :

$$CPN = \frac{\text{prix interieur} \left(\text{en F CFA}\right)}{\text{prix de référence} \left(\text{en F CFA}\right)} = \frac{P_j}{P_j^*}$$

Résultats

Analyse des comptes d'exploitation

L'analyse des comptes d'exploitation des acteurs de la chaîne de valeurs montre que les commerçants des jus perçoivent plus de revenus par rapport aux autres acteurs. Ils enregistrent respectivement 6 324 938 F CFA et 1 114 644 F CFA en moyenne pour la commercialisation des jus de *Borassus æthiopum* et de *Saba senegalensis*. Puis les transformateurs enregistrent en moyenne 855 212 F CFA par campagne de transformation de jus de *Saba senegalensis*. Les acteurs de la cueillette et de la collecte des fruits perçoivent les plus faibles revenus de la chaîne. Cependant, avec les revenus les plus élevés, les commerçants des jus enregistrent le plus faible taux de rentabilité (0,91 F CFA). La transformation est l'activité la plus rentable. En effet, chaque franc CFA investi dans la transformation des jus procure 23,47 F CFA pour *Borassus æthiopum* et 22,25 F CFA pour *Saba senegalensis*. Puis se classent la cueillette et la collecte des fruits dans les sites. En effet, pour les acteurs de la collecte, et pour les deux espèces, chaque franc CFA investi procure en moyenne 8,905 F CFA. Ces indicateurs montrent que la production des jus demeure l'activité la plus rentable suivie de l'exploitation des fruits.

Tableau 2
Compte d'exploitation des acteurs des chaînes de valeurs.

Indicateurs	Exploitants		Transformateurs		Commerçants	
	Borassus æthiopum	***Saba senegalensis***	***Borassus æthiopum***	***Saba senegalensis***	***Borassus æthiopum***	***Saba senegalensis***
Produits bruts (F CFA)	11 142	34 214	833 492	1 045 675	8 800 000	3 568 708
Charges variables (F CFA)	1 198,5	1 168	88 557,5	190 825,5	2 475 063	1 219 711
Charges fixes (F CFA)	4 316,5	4 183,5	31 714,5	55 054,5	-	-
Revenus (F CFA)	6 586	28 425,5	514 012,5	855 212	6 324 938	1 114 644
Taux de rentabilité (F CFA)	8,905	8,905	23,47	22,25	2,56	0,91

Analyse des indicateurs de la matrice d'analyse des politiques

La rentabilité financière (ou profit privé) et la rentabilité économique (ou profit social) des exploitantes, transformatrices et commerçants sont présentées dans le tableau 3. L'activité de production, qui ne nécessite pas d'investissements particuliers en dehors de l'effort de récolte, permet d'estimer le taux rentabilité financière des exploitantes à 623 % pour l'exploitation de jus de *S. senegalensis* contre 116 % pour le jus de *B. æthiopum*. La transformation des fruits de *Borassus* et de *Saba,* qui nécessite un maximum d'investissement en unité de transformation, frais des sacs de conditionnement, de transport, de carburant, de communication, d'entretien du matériel et une main d'œuvre salariale, permet au transformatrices des jus d'avoir un taux de rentabilité financière à l'ordre 238 % pour le jus de *Saba* contre 233 % pour le jus de *Borassus* (tabl. 3). Cependant, la production du jus de *B. æthiopum* n'est pas économiquement rentable (- 82 %). Au niveau de la commercialisation, tous les acteurs ont un taux de rentabilité financière et économique supérieur ou égal à 115 %. Une analyse des revenus, des intrants échangeables et non échangeables ainsi que des profits des agents de la transformation, montre que cette activité au prix social n'est pas économiquement rentable. Le contraire est observé pour les commerçants. En effet, la commercialisation des jus de *S. senegalensis* engendre un profit économique de 159 % pour un profit financier de 115 %, et de 249 % et 150 % respectivement pour la commercialisation de jus de *B. æthiopum*. L'analyse montre que cette activité n'entraîne pas de coûts sociaux supérieurs aux gains nets obtenus par la communauté.

Tableau 3
Indicateurs de la rentabilité financière et économique des chaînes de valeurs.

Acteurs	Indicateurs	Revenus (F CFA)	Intrants échangeables (F CFA)	Intrants non échangeables (F CFA)	Profits (F CFA)	Taux de rentabilité (%)
Exploitants	***Borassus æthiopum***					
	Prix financier	11 142	1 092	4 060	5 990	116
	Prix économique	803	873	3 654	- 3 724	- 82
	Différences	10 338	218	406	9 714	
	Saba senegalensis					
	Prix financier	34 214	887	3 847	29 479	623
	Prix économique	6 240	1 020	1 923	3 296	112
	Différences	27 974	- 133	1 923	26 184	
Transformateurs	***Borassus æthiopum***					
	Prix financier	257 276	64 348	12 864	180 065	233
	Prix économique	2 010	72 069	12 221	- 82 279	- 98
	Différences	255 266	- 7 722	643	262 345	
	Saba senegalensis					
	Prix financier	719 311	176 580	35 966	506 766	238
	Prix économique	140 727	105 948	53 948	- 19 169	- 12
	Différences	578 584	70 632	- 17 983	525 934	
Commerçants	***Borassus æthiopum***					
	Prix financier	8 800 000	2 475 063	45 000	6 279 938	249
	Prix économique	4 743 684	1 856 297	40 500	2 846 888	150
	Différences	4 056 316	618 766	4 500	3 433 050	
	Saba senegalensis					
	Prix financier	2 951 531	1 329 441	45 000	1 577 091	115
	Prix économique	2 237 822	797 664	67 500	1 372 657	159
	Différences	713 710	531 776	-22 500	3	

Analyse d'indicateurs d'avantage comparatif et d'incitations aux productions

L'analyse du tableau de la MAP à travers le ratio du coût des ressources domestiques (CRD) pris individuellement par acteur montre que la zone du Mali-Sud a un avantage comparatif dans la production des jus de *B. æthiopum* et *S. senegalensis* à l'exception des transformatrices de *B. æthiopum* (tabl. 4). Les résultats montrent que pour tous les acteurs de la chaîne de valeurs, le coefficient

de protection nominal (CPN) est supérieur à 1, ce qui souligne que le système est efficacement protégé contre les prix internationaux. Les coefficients de protection nominaux sur les intrants (CPN/i) pour tous les maillons des deux chaînes de valeurs sont également supérieurs à 1, à l'exception de la production de jus de *B. æthiopum* et de l'exploitation des fruits de *S. senegalensis*. Ainsi, producteurs de jus de *B. æthiopum* et exploitants des fruits de *S. senegalensis* bénéficient d'une protection de leur marché intérieur. Par contre, pour les producteurs de jus de *B. æthiopum* et les exploitants des fruits de *S. senegalensis,* le CPN a une valeur inférieure à 1 ; la taxe imposée sur les intrants ne rend pas la distribution de ces produit compétitive sur le marché intérieur qui n'est pas protégé. Le CPE indique le degré réel d'incitation par l'effet combiné des politiques de prix des jus et des intrants échangeables utilisés dans leur processus de production. Pour cette variable, les résultats montrent des coefficients de protection effective (CPE) supérieurs à 1 pour les commerçants de jus de *B. æthiopum* et pour les acteurs de la chaîne de valeurs de jus de *S. senegalensis*. Par contre, il est inférieur à 1 pour les exploitantes et les productrices de jus de *B. æthiopum*.

Tableau 4
Indicateurs d'avantage comparatif.

Coefficient	Formule de calcul	Exploitantes	Transformatrices	Commerçants
		Borassus æthiopum		
CRD	G / (E-F)	- 52,18	0,07	0,014
CPN	(A / E)	13,87	127,97	1,855
NPI	(B / F)	1,25	0,89	1,333
CPE	(A-B) / (E-F)	- 143,51	- 2,75	2,191
		Saba senegalensis		
CRD	G / (E-F)	0,37	1,55	0,047
CPN	(A / E)	5,48	5,11	1,319
NPI	(B / F)	0,87	1,67	1,500
CPE	(A-B) / (E-F)	6,39	15,60	1,126

Discussions

L'analyse des comptes d'exploitation des chaînes de valeurs du jus de *B. æthiopum* et de *S. senegalensis* dans le sud du Mali a montré que les commerçants des jus réalisent des revenus très appréciables. Ces acteurs économiques enregistrent des charges variables nettement supérieures à celles des autres acteurs, soit 2 475 063 F CFA pour *B. æthiopum* et 1 329 441 F CFA pour *S. senegalensis* contre 1 092 F CFA et 1 168 887 F CFA respectivement pour les exploitantes de *B. æthiopum* et de *S. senegalensis*. Avec les revenus

les plus élevés, les commerçants ont le taux marginal de rentabilité le plus faible. Ce faible taux pourrait être expliqué par la concurrence déloyale des acteurs sénégalais sur les marchés maliens. Cette concurrence devrait permettre d'augmenter les prix des fruits de *B. æthiopum* et *S. senegalensis* au niveau national. Ces informations sont confirmées par les travaux de Kroma et Lamien (2017) sur les commerçants exportateurs de gomme arabique dont les frais d'achat représentent environ 97 %.

L'analyse de la rentabilité financière et économique montre que les acteurs impliqués dans les chaînes des deux produits en tirent un bénéfice net financier positif, ce qui pourrait être expliqué par le fait que la production et la transformation des jus des deux espèces ne nécessitent pas beaucoup d'investissement et utilisent des technologies adaptées. L'activité d'exploitation, de transformation et de commercialisation de ces deux produits est donc rentable.

L'analyse de la compétitivité des chaînes de valeurs à travers la MAP montre que le système est efficacement protégé contre les prix internationaux. L'analyse du coût des ressources domestiques (CRD) pris individuellement par acteur, montre que la zone Mali-Sud a un avantage comparatif dans la production des jus de *B. æthiopum* et de *S. senegalensis*. Les coefficients de protection nominal (CPN) de tous les acteurs de la chaîne de valeurs sont supérieurs à 1, ce qui montre que le système est efficacement protégé contre les prix internationaux. Les coefficients de protection nominaux sur les intrants (CPN/i) pour tous les maillons des deux chaînes de valeurs sont supérieurs à 1, à l'exception de la production de jus de *B. æthiopum* et de l'exploitation des fruits de *S. senegalensis,* ce qui signifie une certaine protection naturelle des produits. Par contre, pour les producteurs de jus de *B. æthiopum* et les exploitants des fruits de *S. senegalensis,* le CPN a une valeur inférieure à 1, ce qui signifie une situation de protection négative (ces acteurs sont exposés à la concurrence extérieure) pour ces deux types d'acteurs. Les coefficients de protection effective (CPE) sont supérieurs à 1 pour les commerçants de jus de *B. æthiopum* et les acteurs de la chaîne de valeurs de jus de *S. senegalensis*. On en déduit que ces acteurs sont incités à exercer leur activité puisque la rémunération des facteurs primaires est supérieure à ce qu'elle devrait être sans intervention. La combinaison des transferts sur les jus et les biens échangeables n'entraînent donc pas une distribution effective des revenus inférieurs à ce qu'elle serait en cas d'application des prix internationaux. Il n'y a donc pas de transfert des ressources financières de ces agents vers l'extérieur. Ces acteurs sont plus intéressés que les exploitantes et les productrices de jus de *B. æthiopum* (CPE < 1). Ainsi, le Mali bénéficie naturellement d'une protection sur ces deux produits à tous les maillons des deux chaînes de valeurs. Kroma et Lamien (2017) ont également conclu que la commercialisation de la gomme arabique profite d'une protection tandis que l'activité de production n'en bénéficie pas. Par ailleurs, une étude de Ibro *et al*. (2002) a montré que la production du niébé au Niger ne bénéficie pas de protection. Le prix intérieur du niébé y est ainsi faible par rapport au prix à l'extérieur.

L'analyse de la compétitivité des chaînes de valeurs montre que les commerçants de jus de *S. senegalensis* sont relativement plus compétitifs que les autres acteurs

de cette chaîne, avec une efficacité économique de 159 %. On peut en déduire que la zone Mali-Sud a un avantage comparatif dans l'exploitation et la commercialisation du jus de *S. senegalensis*. Il y est ainsi moins couteux de commercialiser les fruits et les jus de *B. æthiopum* et de *S. senegalensis* à l'intérieur de la zone du Mali-Sud que de les importer. Ainsi, les transformatrices, exploitantes et commerçants ont un avantage comparatif d'exercer leurs fonctions dans les chaînes de valeurs de ces jus. Tarama (2010) a également constaté qu'il est moins coûteux en ressources domestiques de produire le sésame au Burkina Faso que de l'importer ; par ailleurs les travaux de Zinmonse (2012) montrent que le Bénin a également un avantage comparatif dans la production de noix d'anacarde.

Conclusion

Les chaînes de valeurs de jus de *Borassus æthiopum* et de *Saba senegalensis* au Mali-Sud sont économiquement et financièrement rentables pour la majorité des acteurs économiques que sont les exploitantes de fruits de *B. æthiopum* et de *S. senegalensis*, les commerçants des fruits de ces deux espèces et les transformatrices de jus de *S. senegalensis*. Cette rentabilité économique et financière permet (1) à ces acteurs de générer des revenus susceptibles d'améliorer leurs conditions de vie et (2) d'aider au développement socio-économique des localités du projet. À l'inverse, les transformatrices de *B. æthiopum* n'ont pas intérêt à continuer leur activité car la transformation du jus de *Borassus* n'est pas économiquement rentable bien qu'elle le soit financièrement. Autrement dit, le prix intérieur du jus de *Borassus* est supérieur au prix international. L'analyse des coûts des ressources domestiques et non domestiques a montré que le Mali a ainsi un avantage comparatif à produire ces deux produits.

Références bibliographiques

Adegbola P. Y., Sodjinou E., Singbo A., 2002
« Étude de la compétitivité de la riziculture béninoise », *In* Bal A. B. (éd.) : *Compte rendu de la seconde revue régionale de la recherche rizicole, Actes du 4Rs 2002* : 150-170.

Arouna A., Afomasse D., 2005
Analyse de la compétitivité de la filière ananas au Bénin. Rapport définitif. Inrab/Papa, Cotonou, 27 p.

Balassa B., 1970
Protection industrielle dans les pays en voie de développement (Bird). Études sur la libéralisation du commerce. Problèmes et perspectives pour les pays industriels. Bird, RM, 79 p

Bognounou O., 1993
Place de la diversité de la nature dans la sécurité alimentaire des ménages et la sauvegarde de l'environnement. Conférence-débat à la Journée mondiale de l'alimentation, FAO, Ouagadougou, 13 au 16 oct.

Bognounou O., 1994
Réflexions sur les ligneux à usages multiples. Compte rendu d'une visite d'étude sur l'agroforesterie. 14 au 25 nov., Centre technique de coopération agricole et rurale (ACP-UE), Ouagadougou.

Bognounou O., 1995
Le rôle des femmes dans la gestion des ressources naturelles. Communication au séminaire sur la gestion des ressources naturelles, Ouagadougou, 15 p.

CPS/SDR, 2016
Annuaire statistique 2015 du secteur du développement rural. Ministère de l'Agriculture du Mali, 131 p.

Dembélé U., 2017
Valorisation socio-économique des espèces ligneuses oléagineuses locales à travers l'approche chaîne de valeur : cas de l'huile de Carapa procera *D. C. (Meliaceae) au Mali*. Thèse de doctorat, Institut supérieur de formation et de recherche appliquée (Isfra), université du Mali, 169 p

Dury S., Bocoum I., 2012
Le « paradoxe » de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs. *Cah. Agric*., 21 (5) : 324-336.

Konaté G., 2001
Étude prospective du secteur forestier en Afrique (Fosa). Document national du Mali. Direction nationale de la conservation de la nature. Ministère de l'Équipement, de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de l'Urbanisme, Mali, 79 p.

FAO, 1999
Vers une définition harmonisée des produits forestiers non ligneux. *Unasylva,* 50 (198) : 63-66.

Gakou M., Force J. E., Mc Lauhlin W. J., 1994
Non-timber forest products in rural Mali. A study of village use. *Agroforestry Systems,* 28 : 213-226.

Ibro G., Moussa B., Kamay A., Nouhoheflin T., 2002
Analyse coût-bénéfice des technologies du niébé : une application de la matrice d'analyse des politiques (MAP). Conférence annuelle de l'Association africaine d'évaluation, Nairobi, 10-14 juin 2002, 20 p.

Instat, 2013
Consommation, pauvreté et bien-être des ménages. Rapport d'analyse passages 1-4, enquête modulaire et permanente auprès des ménages (Emop), avril 2011-mars 2012. Bamako.

Instat, 2017
Enquête nutritionnelle anthropométrique et de mortalité rétrospective. Smart. Ministère de la Santé et de l'Hygiène publique, ministère de la Planification, de l'Aménagement du Territoire et de la Population, Mali, 75 p.

Kroma S., Lamien N., 2017
Évaluation de la rentabilité et de la compétitivité de la chaine de valeur gomme arabique dans l'amélioration des conditions de vie des populations au sahel du Burkina Faso. *Agronomie africaine* Sp. 29 (1) : 29-40

Lançon F., 2000
Étude de la compétitivité de la riziculture guinéenne. Rapport de la 1re mission d'appui de l'Adrao 4-19 mars 2000, 32 p.

Mekonnen Z., Worku A., Yohannes T., Bahru T., Mebratu T., Teketay D., 2013
Economic contribution of gum and resin resources to household livelihoods in selected regions and the national economy of Ethiopia. *Ethnobot. Res. Appl*., 11 : 273-288.

Monke E. A., Pearson S. R., 1989
The policy analysis matrix for agricultural development. 201 p.

Noumi G. B., Dandjouma A. K. A., Kapseu C., Parmentier M., 2006
Le savoir-faire local dans la valorisation alimentaire des fruits du safoutier (*Dacryodes edulis* (G. Don) H. J. Lam) au Cameroun. *Tropicultura*, 24 : 58-62.

Pirt, 1983
Les ressources terrestres au Mali. Rapport technique. Volume II. Gouvernement de la République du Mali, USAID/TAMS. B3-B41

Pnud, 2013
Rapport sur le développement humain 2013. L'essor du Sud : le progrès humain dans un monde diversifié. Programme des Nations unies pour le développement, New York.

Pnud, 2016
Rapport sur le développement humain 2016. Le développement humain pour tous. Programme des Nations unies pour le développement, New York.

Senou O., Ongoiba B., 2014
Rapport diagnostic sur la filière noix de palmier rônier dans les régions de Sikasso, Ségou et Mopti au Mali. Ministère du développement rural, Mali, 24 p.

Tarama J., 2010
*Analyse de la rentabilité financière et économique de la chaîne de valeurs sésame (*Sesamum indica *L.) dans la région de la Boucle du Mouhoun (Burkina Faso).* Mémoire de fin d'études en Sociologie et Économie rurales, Institut du développement rural/université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 93 p.

Weber N., Birnbaum P., Forget P.-M., Guèye M., Kenfack D., 2010
L'huile de carapa (*Carapa* spp., Meliaceae) en Afrique de l'Ouest : utilisations et implications dans la conservation des peuplements naturels. *Fruits*, 65 : 343-354. DOI : 10.1051/fruits/2010029.

White, F., 1983
The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the Unesco/AETFAT/Unso vegetation map of Africa. *Natural resources research* Series, 20, Unesco 356 p.

Zinmonse T. R., 2012
Analyse de la rentabilité de la filière anacarde dans le département des collines : cas de la commune de Savalou. Mémoire de maîtrise en Finance et Comptabilité, université de Parakou, 84 p

Chapitre 13

Gestion des maladies hépatiques et plantes utilisées par les tradipraticiens au Burkina Faso

André Tibiri
CNRST, Burkina Faso

Sébastien Boria
Airbus Defence and Space, France

Tata Kadiatou Traoré
Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Noufou Ouédraogo
CNRST, Burkina Faso

Aude Nikièma
CNRST, Burkina Faso

Souleymane Ganaba
Inera, Burkina Faso

Jean-Marie Compaoré
Fenatrab, Burkina Faso

Issiaka Ouédraogo
CHU-YO, Burkina Faso

Innocent Pierre Guissou
CNRST, Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Maëlle Carraz
IRD, France

Introduction

Le cancer primitif du foie (hépatocarcinome) est le 4e cancer le plus meurtrier au monde (http://www.gco.iarc.fr). Les études épidémiologiques montrent que 3,5 % de la population mondiale est chroniquement infectée par le virus de l'hépatite B (VHB) et que la prévalence du VHB chez les enfants en Afrique est aussi de 3 %, malgré la mise en place de la vaccination en 2006 (Sanou *et al.*, 2018). Les virus hépatiques chroniques B et C induisent une fibrose hépatique pouvant évoluer en cirrhose puis en hépatocarcinome (Petrizzo *et al.*, 2018). Au Burkina Faso, l'hépatocarcinome est le second cancer le plus meurtrier (1 269 morts en 2018) et le premier chez les hommes, tandis que les maladies hépatiques en général sont responsables de 2,3 % de la mortalité. Les cinq types d'hépatites virales A, B, C, D et E, sont présents au Burkina (Lingani *et al.*, 2018) ainsi que d'autres facteurs favorisant les maladies hépatiques, tels que

les parasites de type plathelminthe et helminthe (Bagayan *et al.*, 2016 ; Suzuki *et al.,* 2011 ; Erismann *et al.*, 2016), les mycotoxines (Warth *et al.*, 2012), la consommation d'alcool et de tabac. L'accès aux médicaments même palliatifs étant très limité, voire inexistant, la population se tourne alors vers la médecine traditionnelle à base de plantes. Depuis 1994, le Burkina Faso intègre la pharmacopée traditionnelle dans son système de santé, et la recherche scientifique sur les plantes médicinales est encouragée. Ainsi, en partenariat avec la fédération nationale des tradipraticiens burkinabè, nous avons entrepris la première étude ethnobotanique à l'échelle d'un pays pour en répertorier les plantes hépatoprotectrices. Le Burkina Faso, d'une superficie de 274 200 km^2, est divisé en treize régions et compte, en 2020, 20 835 401 habitants, concentrés majoritairement dans la région Centre. En explorant les plantes utilisées dans les treize régions du Burkina Faso, cette étude rapporte une collection unique de plantes dites hépatoprotectrices d'Afrique de l'Ouest.

Matériels et méthodes

Enquête ethnopharmacologique

L'enquête de terrain a été effectuée d'octobre 2013 à mars 2014. Dans chaque région, les tradipraticiens ont été contactés au préalable par la Fédération nationale des tradipraticiens (Fenatrab) afin d'obtenir leur consentement à l'étude et vérifier leur implication dans la prescription de plantes hépatoprotectrices. Chaque enquête a été effectuée dans le langage local et les réponses traduites en français grâce à des guides de la Fenatrab. Les informations ont été collectées par neuf investigateurs de l'Institut de recherche en sciences de la santé et de l'université de Sciences de Ouagadougou. L'interrogatoire a reposé sur un questionnaire de 31 entrées au total, ainsi que sur une discussion libre, l'observation de plantes sur le terrain et leur géolocalisation. Le questionnaire incluait cinq sections principales : (1) informations sur l'investigateur, (2) informations sur le tradipraticien, (3) pathologie traitée et sa nosographie, (4) informations sur les plantes citées, (5) mode de récolte, de préparation et d'administration des plantes, (6) information sur la toxicité connue des plantes.

Identification des espèces de plantes

De petites parties de plante ont été prélevées pour leur identification au laboratoire d'écologie et de biologie végétale de l'université de Ouagadougou par le botaniste Amado Ouedraogo et ont été échantillonnées pour la collection de l'*herbarium* de l'université. Les noms taxonomiques des plantes et de leur famille botanique ont été vérifiés grâce au site de référence The Plant List (http://www.theplantlist.org). Soixante-neuf entrées de plantes (3,4 %) n'ont pourtant

pas pu être identifiées. Il s'agissait principalement de plantes importées de pays voisins et leurs échantillons n'étaient pas disponibles.

Analyse des données

Les données de terrain ont été enregistrées grâce au logiciel Sphinx Plus v5. Le logiciel R a été utilisé sous Linux Debian 10 pour l'ensemble des analyses, calculs et représentations graphiques dont les cartes géographiques. Les principales fonctions utilisées sous R ont été : (1) readr, dplyr, tidyverse, stringr et splitstackshape pour les analyses, (2) raster et sp pour les graphiques et (3) maptools, geosphere, GADMTools et geoname pour les cartes.

Les fonds de cartes ont été générés grâce aux données sources disponibles :

– GADM (gadm.org), 2018 ;

– Food and Agriculture Organization (FAO) / United Nations (fao.org), 2009, et IGB-BDOT (Institut géographique burkinabè-Base de données d'occupation des terres, igb.bf), 2002 ;

– Digital Chart of the World (DCW 1992) ;

– GeoNames (geonames.org).

Les données de géolocalisation des tradipraticiens et des plantes ont été acquises par GPS (US Global Positioning System) sur appareillages eTrex Venture[â] HC. Les distances tradipraticiens-plantes ont été calculées en utilisant les formules de Vicenty.

Résultats

Les tradipraticiens burkinabè et leurs savoirs sur les maladies hépatiques

Cinq-cent-soixante-quinze tradipraticiens ont été interrogés dans l'ensemble du pays. Leur distribution est homogène dans les treize régions mais légèrement plus concentrée dans les régions Centre (12,2 % qui comprend la capitale Ouagadougou), Centre-Nord (10 %), Boucle du Mouhoun (10 %) et Hauts-Bassins (10 %) (fig. 1). Ainsi, 48,4 % des tradipraticiens se retrouvent dans les régions du centre (Centre, Centre-Nord, Centre-Sud, Centre-Est, Centre-Ouest et Plateau-central), 32,3 % dans les régions à l'ouest (Boucle du Mouhoun, Hauts-Bassins, Cascades et Sud-Ouest), 12 % dans les régions au nord (Nord et Sahel) et 7,3 % dans la région à l'est. Parmi ces tradipraticiens, 305 sont des femmes et 270 sont des hommes. La majorité est âgée entre quarante et soixante-dix ans (pic entre cinquante-soixante ans), quinze tradipraticiens ont moins de trente ans et dix-huit ont plus de quatre-vingts ans. Pendant ces enquêtes, au moins 30 langages et dialectes différents ont été utilisés, particulièrement le

Figure 1
Distribution (enregistrements - %) des tradipraticiens interrogés par région.

mooré (44 %), le dioula (21 %), le français (14 %), le gourmantchéman (6 %), le bissa (5 %), le fulfuldé (3 %) et le nouni (2 %). Nous avons aussi observé que, même au sein d'un même dialecte, certaines plantes médicinales possèdent différents noms vernaculaires ou orthographes.

L'ensemble des tradipraticiens interrogés est familier avec la notion de maladie hépatique et décrivent les symptômes associés en 121 combinaisons différentes, parmi lesquelles les plus fréquentes sont : asthénie et jaunisse (23,7 %), asthénie, jaunisse et douleur au flanc (21,7 %), jaunisse seule (14,3 %), asthénie, jaunisse et fièvre (5,2 %). D'autres symptômes sont mentionnés sporadiquement, soit directement liés aux maladies hépatiques (hépatomégalie, anorexie, nausées, maux de tête et fièvre), soit indirectement (douleurs, crampes, gonflement des jambes et des pieds, urticaire) mais pourtant mentionnés à plusieurs reprises par des tradipraticiens différents.

Les maladies hépatiques décrites par les tradipraticiens sont dans la plupart des cas la jaunisse (77,7 %) (ce qui montre une confusion entre symptôme et pathologie), les hépatites (13,1 %), une dysfonction du foie (5 %), un cancer du foie (0,3 %), une cirrhose (0,3 %). De façon intéressante, chaque tradipraticien préconise un remède différent suivant la pathologie hépatique mentionnée. De plus, pour chaque pathologie donnée, il leur est fréquent de proposer des remèdes différents, allant, selon certains, jusqu'à onze remèdes. Certains tradipraticiens spécifient le type d'hépatite virale à traiter : l'hépatite B (2,6 %), l'hépatite A (0,5 %), l'hépatite A ou B (0,2 %), l'hépatite B ou C (0,15 %) ou la combinaison des hépatites A, B et C (0,1 %). Aucun tradipraticien ne mentionne l'hépatite C seule, ni les hépatites D ou E bien qu'elles soient présentes également au Burkina Faso. D'après eux, la région Centre concentre le plus de cas d'hépatites (196 parmi 230). L'hépatite B est mentionnée dans neuf des treize régions mais exclue

des régions Centre-Ouest, Plateau Central, Nord et Sud-Ouest. L'hépatite A est mentionnée dans les régions Centre, Centre-Ouest, Boucle du Mouhoun et Hauts-Bassins, tandis que l'hépatite C n'est mentionnée que dans les régions Centre et Cascades.

Sélection et récolte des plantes médicinales pour le traitement des maladies hépatiques

Un total de 2 006 entrées de plantes a été enregistré. L'analyse de leur géolocalisation montre qu'elles sont distribuées de façon homogène dans le pays mais en plus grande proportion dans les régions Hauts-Bassins (15,3 %), Cascades (14,8 %), Centre-Nord (12,8 %) et Boucle du Mouhoun (10,3 %) (fig. 2). Le nombre moyen de plantes prescrites par tradipraticien est de 3,3. Le nombre de plantes utilisées par chaque tradipraticien varie de 1 à 22. Seul un tradipraticien utilise 22 plantes différentes, tandis que 107 tradipraticiens (18,6 %) disent n'en utiliser qu'une seule. L'identification botanique des plantes a abouti à 212 espèces différentes appartenant à 52 familles et 158 genres différents, parmi lesquels 127 sont représentés par seulement une espèce. Les familles les plus représentées sont les Leguminosae (21,4 %), Combretaceae (16 %), Bixaceae (12 %), Rubiaceae (5,5 %), Meliaceae (4,4 %) et Compositae (3,3 %). Les genres les plus cités sont *Cochlospermum* (12 %), *Terminalia* (6,4 %), *Cassia* (4,9 %) et *Anogeissus* (4,1 %). Ces 212 espèces avaient déjà été rencontrées en Afrique. Parmi elles, 60 % sont exclusivement africaines, 22 % sont également trouvées dans d'autres pays tropicaux d'Amérique du Sud et d'Océanie et 18 % sont aussi largement distribuées à travers le monde. Les neuf espèces les plus citées sont *Cochlospermum tinctorium* Perr. ex A. Rich. (Bixaceae) (186 tradipraticiens ; 9,3 %), *Cassia sieberiana* D. C. (Leguminosae) (88 ; 4,4 %), *Anogeissus leiocarpa* (D. C.) Guill. & Perr. (82 ; 4,1 %), *Tamarindus indica* L. (Leguminosae) (73 ; 3,6 %), *Terminalia avicennioides* Guill. & Perr. (Combretaceae) (64 ; 3,2 %), *Carica papaya* L. (Caricaceae) (59 ; 2,9 %), *Cochlospermum planchonii* Hook.f. ex Planch. (55 ; 2,7 %), *Combretum micranthum* G. Don (55 ; 2,7 %) et *Terminalia macroptera* Guill. & Perr. (55 ; 2,7 %). Les plantes domestiquées sont largement utilisées, particulièrement *Tamarindus indica* L., *Carica papaya* L., *Citrus limon* (L.), Osbeck (Rutaceae) (35 tradipraticiens ; 1,7 %) et *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae) (27 ; 1,4 %). La géolocalisation des espèces les plus utilisées montre que *Cochlospermum tinctorium* est présente dans six des treize régions, tandis que *Cochlospermum planchonii* n'est indiquée que dans la région Cascades. Parmi les autres espèces les plus utilisées, *Cassia sieberiana* et *Tamarindus indica* sont trouvées dans dix régions, *Anogeissus leiocarpa* dans onze régions, *Terminalia avicennioides* et *Carica papaya* dans sept régions, *Combretum micranthum* dans neuf régions et *Terminalia macroptera* dans trois régions.

Figure 2
Distribution (enregistrements - %) des plantes médicinales par région, en fonction de leur géolocalisation.

Les parties de plante les plus utilisées sont classiquement les racines et les feuilles (32,9 et 28,2 % respectivement), puis les écorces, les branches feuillues et les fruits. Nous avons regardé grâce à leurs coordonnées GPS respectives, et lorsque cela était possible (dans 67 % des cas), la localisation des tradipraticiens en relation avec leurs plantes et nous avons constaté que les tradipraticiens peuvent voyager pour collecter leurs plantes (fig. 3). Les plus longues distances observées extra-région (en dehors de leur région d'habitation) sont de 220 km pour les plantes *Anogeissus leiocarpa*, *Cochlospermum planchonii*, *Entada africana* Guill. & Perr., *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn., *Cassia sieberiana*. Au sein d'une même région, les plus longues distances observées sont de 125 km pour collecter *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh ou de 116 km pour collecter *Balanites ægyptiaca* (L.) Delile. Au total, 97 plantes sont récoltées à plus de 100 km de l'habitation du tradipraticien, 85 plantes entre 50 et 100 km et 1 043 plantes entre 1 et 50 km.

D'autres précautions sont prises par les tradipraticiens telles que l'importance du cycle de vie de la plante (7,7 % des cas). Par exemple, les feuilles de *Carica papaya* ou de *Combretum micranthum* sont collectées avant que les plantes ne fleurissent.

Figure 3

Carte géographique des tradipraticiens interrogés (points rouges), leurs plantes (points verts) et distances en fonction de leur géolocalisation.

Pratiques et usage des plantes médicinales pour le traitement des maladies hépatiques

Parmi les espèces de plantes décrites comme hépatoprotectrices, 139 (66 %) peuvent avoir d'autres utilisations médicinales, telles que antipaludiques (31,1 %), digestives (9,1 %), contre les hémorroïdes (5,7 %) et contre l'asthénie (4 %). De façon intéressante, les plantes les plus utilisées contre le paludisme sont également celles les plus utilisées contre les maladies hépatiques. À l'opposé, douze plantes médicinales sont décrites au moins trois fois par les tradipraticiens sans être associées à d'autres pathologies que celles hépatiques. Par ailleurs, quatre plantes sont mentionnées pour soigner le cancer du foie, une autre pour prévenir ce cancer et une sixième pour pouvoir combattre n'importe quel cancer, ceci par quatre tradipraticiens différents. Il s'agit des espèces *Annona squamosa* L., *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaerth., *Senna siamea* (Lam.) H. S. Irwin & Barneby., *Gardenia sokotensis* Hutch. et *Lippia chevalieri* Moldenke. Le quatrième tradipraticien à Boucle du Mouhoun renseigne que *Securidaca longipedunculata* Fresen. en association avec *Calotropis procera* (Aiton) Dryand peut guérir toutes les plaies cancéreuses.

La préparation des remèdes des plantes se fait majoritairement par décoction (69 %), macération dans l'eau ou l'alcool local (8,2 %) ou en mélangeant directement la poudre de plante (4,6 %) à de la soupe, de l'eau ou du millet. La majorité des recettes sont administrées oralement (43,5 %), ou oralement et par bain (39,4 %). Dans la grande majorité des cas (81,9 %), les plantes dites hépatoprotectrices sont utilisées en association avec deux à onze autres espèces. Les plantes les plus utilisées en association sont aussi celles les plus utilisées en première intention contre les maladies hépatiques. C'est le cas de *Cochlospermum tinctorium* (7,6 %), suivie de *Anogeissus leiocarpa* (4,1 %) et *Cassia sieberiana* (3,9 %). En revanche, dix-sept espèces ne sont jamais utilisées en association, telles que *Cola cordifolia* (Cav.) R. Br. (Sterculiaceae) et *Elaeis guineensis* Jacq. (Arecaceae).

Enfin, peu de plantes (22 au total) sont suspectées toxiques par les tradipraticiens et 98,3 % sont déclarées non toxiques. Parmi les plantes citées comme toxiques par au moins deux tradipraticiens, se trouvent *Crinum zeylanicum* (L.) L. (Amaryllidaceae), *Bobgunnia madagascarensis* (Desv.) J. H. Kirkbr. & Wiersema (Leguminosae), *Anogeissus leiocarpa*, *Sarcocephalus latifolius* (Sm.) E. A. Bruce (Rubiaceae), *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) et *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (Leguminoseae). Deux autres plantes ne sont citées qu'une seule fois mais connues pour être toxiques ; il s'agit de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) (Abdu-Aguye *et al*., 1986) et *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. (Cucurbitaceae) (Ho *et al*., 2014). De façon générale, d'après les tradipraticiens burkinabè, la toxicité des plantes chez l'homme affecte le cerveau, la bouche, les intestins, l'œsophage ou le développement fœtal.

Discussion et perspectives

Le but de cette large enquête de terrain a été d'obtenir une vue générale des plantes médicinales utilisées de façon récurrente pour soigner les maladies hépatiques et les pratiques associées des tradipraticiens. Des plantes ou remèdes les plus utilisés, nous pouvons espérer une relevance biologique qui est une étape primordiale pour une utilisation plus large de ces remèdes par les populations locales. En effet, 575 tradipraticiens ont été interrogés ; bien que ce chiffre semble élevé, il n'est qu'une fraction des 30 000 tradipraticiens totaux estimés au Burkina Faso (Zerbo *et al.*, 2011). Le savoir médical traditionnel africain peut paraître éloigné du système de santé occidental, qui considère la maladie de façon holistique et en basant le diagnostic essentiellement sur des symptômes (Lengani *et al.*, 2010). Dans le cas de dysfonctions hépatiques lourdes, des symptômes physiques visibles existent tels que le jaunissement de la peau et des yeux, des changements de couleur des urines et des fèces, des douleurs au flanc et une fatigue intense que les tradipraticiens décrivent clairement. Par ailleurs, bien que les concepts et l'étiologie du cancer en médecine traditionnelle soient complexes et pas toujours en accord avec la médecine moderne (Abubakar *et al.*, 2007), le cancer du foie est mentionné plusieurs fois dans cette étude. Ceci peut être dû à la haute prévalence des hépatites virales au Burkina Faso et à la connaissance de la population sur leurs conséquences. De plus, le fait que les hépatites virales A, B et C soient citées par des tradipraticiens montre que les médecines traditionnelle et conventionnelle se mélangent en zone tropicale.

Les 212 espèces de plantes différentes recensées dans cette étude représentent environ 10 % du total de la flore du Burkina Faso. Les plantes sont en majorité collectées à l'état sauvage, et le prélèvement des racines est une menace évidente pour la biodiversité dont les tradipraticiens interrogés sont conscients. Quand nous analysons les distances entre les tradipraticiens et leurs plantes par géolocalisation, nous constatons que les tradipraticiens peuvent chercher leurs spécimens loin de leur habitation, parfois jusqu'à 200 km. En considérant que ces plantes ne sont pas toujours rares, plusieurs hypothèses sont envisagées : (1) ces déplacements se font par habitude, par reproduction d'une enseignement transmis par des aînés, (2) ces espèces sont effectivement plus répandues dans ce biotope, (3) les propriétés thérapeutiques des plantes sont meilleures quand elles proviennent d'un biotope spécifique. Le mode de préparation est souvent spécifié en décoction, qui pourrait influencer l'activité biologique de ces plantes (Carraz *et al.*, 2006 ; De Donno *et al.*, 2012). Une étude chimique permettrait d'identifier les molécules actives hépatoprotectrices de ces plantes et voir si leur teneur varie en fonction des différentes conditions évoquées par les tradipraticiens. Un autre point d'investigation serait de comprendre l'importance des associations de plantes pour leur activité hépatoprotectrice. Les tradipraticiens les justifient par une augmentation de l'effet thérapeutique ou une diminution des effets secondaires engendrés par certaines plantes. Au Burkina Faso comme

ailleurs, la tendance est de penser que l'utilisation de plantes est sans danger et sans effet secondaire, ce qui est erroné au vu d'études antérieures rapportant des cas d'allergies, d'atteintes hépatique et rénale ou de décès après des traitements non contrôlés à base de certaines plantes. Ainsi, il est remarquable que dans notre étude des tradipraticiens décrivent effectivement la possible toxicité d'espèces, telles que *Crinum zeylanicum* (L.) L. (Amaryllidaceae), *Sarcocephalus latifolius* (Sm.) E. A. Bruce (Rubiaceae), *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae), *Lagenaria siceraria* (Molina) Standl. (Cucurbitaceae), *Bobgunnia madagascariensis* (Desv.) J. H. Kirkbr. & Wiersema (Leguminosae), *Anogeissus leiocarpa* (D. C.) Guill. & Perr. (Combretaceae), *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae), *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (Leguminoseae) et *Vitex chrysocarpa* (Lamiaceae). En effet, la toxicité des quatre premières espèces a déjà été démontrée expérimentalement sur des lignées cellulaires multirésistantes aux drogues et sur des modèles animaux (Kuete *et al.*, 2013 ; Trebbi *et al.*, 2019 ; Shendge et Belemkar, 2019).

Après analyse, selon la majorité des tradipraticiens burkinabè, les espèces les plus efficaces contre les maladies du foie sont *Cochlospermum tinctorium* (Bixaceae), *Cassia sieberiana* (Leguminosae), *Anogeissus leiocarpa* (Combretaceae), *Tamarindus indica* (Leguminosae), *Terminalia avicennioides* (Combretaceae), *Carica papaya* (Caricaceae), *Combretum micranthum* (Combretaceae), *Terminalia macroptera* (Combretaceae) et *Cochlospermum planchonii* (Bixaceae). Une protection dose-dépendante contre une hépatotoxicité induite par le CCl_4 chez des souris traitées à 125 mg/kg par un extrait des rhizomes de *Cochlospermum tinctorium* a été démontrée par la diminution de l'alanine aminotransférase dans le sang (Diallo *et al.*, 1992). Aucune étude de toxicité aigüe chez l'animal n'a encore été effectuée pour cet extrait. *Cochlospermum planchonii*, dont le nom vernaculaire est *n'dribala,* est déjà commercialisé localement comme traitement contre l'hépatite chronique ou le paludisme. Il a été effectivement observé chez des rats intoxiqués au CCl_4 que l'administration orale d'un extrait de rhizomes conduit en une diminution sérique des enzymes de dommage au foie ; cet extrait agit en inhibant les enzymes du cytochrome P-450, ce qui le rend hépatoprotecteur contre une intoxication au CCl_4 (Aliyu *et al.*, 1995). Cependant, l'administration orale de cet extrait à des rats à 50 mg/kg pendant plusieurs jours montre aussi une toxicité hépatique et rénale, ce qui en limite l'usage (Nafiu *et al.*, 2011). Plusieurs études ont été menées sur des extraits de *Tamarindus indica,* et aucune toxicité n'a été détectée chez des lapins traités à très haute dose (Sinha *et al.*, 2019). Les extraits de *T. indica* peuvent diminuer la stéatose hépatique chez des rats rendus obèses et limitent l'augmentation des enzymes hépatiques après une diète riche en sucre et en graisse (Azman *et al.*, 2012). Une faible toxicité a été détectée avec les extraits de *Carica papaya* aux doses thérapeutiques chez le rat (Afolabi *et al.*, 2012) ; des rats intoxiqués à l'arsenic mais traités quotidiennement pendant trois semaines à 150 mg/kg d'extrait de racines montrent une amélioration des marqueurs de dommage au foie et des enzymes antioxydantes (Ojo *et al.*, 2017). En revanche, parmi les autres espèces de plantes très utilisées telles que *Cassia*

sieberiana, *Anogeissus leiocarpa*, *Combretum micranthum, Terminalia avicennioides* et *Terminalia macroptera*, aucune investigation de leur propriété hépatoprotectrice n'a été effectuée à ce jour. Ainsi ces cinq espèces présentent une opportunité d'investigation intéressante. Pendant l'étude, six espèces de plantes sont rapportées utiles dans le cas du développement d'un cancer du foie. Il s'agit de *Lippia chevalieri*, *Annona squamosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Senna siamea*, *Gardenia sokotensis* et *Securidaca longipedunculata*. Jusqu'alors, seuls les extraits de *Annona squamosa* et de *Vitellaria paradoxa* ont été explorés sur des modèles d'hépatocarcinome. Ainsi les extraits de feuilles, troncs et racines de *V. paradoxa* inhibent faiblement aux doses standards le développement des cellules tumorales HepG2 (Mbaveng *et al.*, 2011), tandis que les extraits de péricarpe et de graines d'*Annona squamosa* inhibent fortement le développement de ces mêmes cellules *in vitro* et *in vivo* chez la souris transplantée avec des cellules tumorales H(22) (Chen *et al*., 2012 ; Chen *et al*., 2017). De plus, bien que non mentionnées par les tradipraticiens burkinabè, des propriétés anti-cancer de préparations fermentées à partir des fruits de *Carica papaya* L. ont été mises en évidence sur des souris avec un hépatocarcinome induit à la N-méthyl-N-nitrosourée (Somanah *et al*., 2016). Ainsi, la connaissance sur les plantes médicinales hépatoprotectrices doit être partagée non pas de façon unidirectionnelle, du tradipraticien vers le patient ou le chercheur, mais plutôt au travers d'un dialogue tripartite favorisant à terme une meilleure prise en charge des malades au Burkina Faso.

Remerciements

Ce projet est le dernier du Dr. André Tibiri avant qu'il ne meure très prématurément d'un hépatocarcinome. Nous lui rendons hommage pour son travail et sa foi dans ce projet. Nous remercions la Fédération nationale des tradipraticiens et la Direction générale de la pharmacie, du médicament et de la législation (DGPML) du ministère de la Santé du Burkina Faso pour avoir donné leur accord à la réalisation de ce projet et leur appui. Nous remercions les étudiants Souleymane Compaore, Alimata Bance, René Dofini Magnini, Rakiatou Traore, Nouhoun Nignan, Roger Kabore, Lydia Kabore, pour leur participation sur le terrain. Nous remercions le professeur Amado Ouedraogo, botaniste, pour son aide dans l'identification botanique des plantes. Nous remercions le programme Best de l'IRD pour la bourse attribuée à A. Tibiri, ainsi que le Fonds national de la recherche et de l'innovation pour le développement (Fonrid) pour leurs financements.

Déclaration éthique

Cette étude a reçu l'accord éthique du ministère de la Santé du Burkina Faso et du comité d'éthique de l'Institut de recherche en sciences de la santé (IRSS). Les tradipraticiens interrogés ont donné leur consentement éclairé à l'étude.

Références bibliographiques

Abdu-Aguye I., Sannusi A., Alafiya-Tayo R. A., Bhusnurmath S. R., 1986
Acute toxicity studies with *Jatropha curcas* L. *Human toxicology*, 5 (4) : 269-74.

Abubakar M. S., Musa A. M., Ahmed A., Hussaini I. M., 2007
The perception and practice of traditional medicine in the treatment of cancers and inflammations by the Hausa and Fulani tribes of Northern Nigeria. *Journal of ethnopharmacology*, 111 (3) : 625-629.

Afolabi S. O., Akindele A. J., Awodele O., Anunobi C. C., Adeyemi O. O., 2012
A 90-day chronic toxicity study of Nigerian herbal preparation DAS-77 in rats. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 28 (12) : 79.

Aliyu R., Okoye Z. S., Shier W. T., 1995
The hepatoprotective cytochrome P-450 enzyme inhibitor isolated from the Nigerian medicinal plant *Cochlospermum planchonii* is a zinc salt. *Journal of Ethnopharmacology*, 48 (2) : 89-97.

Azman K. F., Amom Z., Azlan A., Esa N. M., Ali R. M., Shah Z. M., Kadir K. K. A. K., 2012
Antiobesity effect of *T. indica* L. pulp aqueous extract in high-fat diet-induced obese rats. *Journal of Natural Medicines*, 66 (2) : 333-342.

Bagayan M., Zongo D., Oueda A., Sorgho H., Savago B., Drabo F., Ouedraogo A., Poda J. N., Kabre B. G., Zhang Y., 2016
Prevalence of schistosomiasis and soil-transmitted helminth infections among schoolchildren in Burkina Faso. *Médecine et santé tropicales*, 26 (3) : 267-272.

Carraz M., Jossang A., Franetich J. F., Siau A., Ciceron L., Hannoun L., Sauerwein R., Frappier F., Rasoanaivo P., Snounou G., Mazier D., 2006
A plant-derived morphinan as a novel lead compound active against malaria liver stages. *PLoS Medicine*, 3 (12) : e513.

Chen Y., Xu S. S., Chen J. W., Wang Y., Xu H. Q., Fan N. B., Li X., 2012
Anti-tumor activity of *Annona squamosa* seeds extract containing annonaceous acetogenin compounds. *Journal of Ethnopharmacology*, 142 (2) : 462-466.

Chen Y. Y., Cao Y. Z., Li F. Q., Zhu X. L., Peng C. X., Lu J. H., CHEN J.W., LI X., Chen Y., 2017
Studies on anti-hepatoma activity of *Annona squamosa* L. pericarp extract. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 27 (9) : 1907-1910.

De Donno A., Grassi T., Idolo A., Guido M., Papadia P., Caccioppola A., Villanova L., Merendino A., Bagordo F., Fanizzi F. P., 2012
First-time comparison of the in vitro antimalarial activity of *Artemisia annua* herbal tea and artemisinin. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 106 (11) : 696-700.

Diallo B., Vanhaelen-Fastre R., Vanhaelen M., Fiegel C., Joyeux M., Roland A., Fleurentin J., 1992
Further studies on the hepatoprotective effects of *Cochlospermum tinctorium* rhizomes. *Journal of Ethnopharmacology*, 36 (2) : 137-142.

Erismann S., Shrestha A., Diagbouga S., Knoblauch A., Gerold J., Herz R., Sharma S., Schindler C., Odermatt P., Drescher A., Yang R. Y., Utzinger J., Cisse G., 2016
Complementary school garden, nutrition, water, sanitation and hygiene interventions to improve children' nutrition and health status in Burkina Faso and Nepal: a study protocol. *BMC Public Health*, 9 (16) : 244.

Ghorani-Azam A., Sepahi S., Riahi-Zanjani B., Ghamsari A. A., Mohajeri S. A., Balali-Mood M., 2018
Plant toxins and acute medicinal plant poisoning in children: a systematic literature review. *Journal of research and medical sciences*, 27 : 23-26.

Ho C. H., Ho M. G., Ho S. P., Ho H. H., 2014
Bitter bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) toxicity. *Journal of Emergency medicine*, 46 (6) : 772-775.

Kuete V., Voukeng I. K., Tsobou R., Mbaveng A. T., Wiench B., Beng V. P., Efferth T., 2013
Cytotoxicity of *Elaoephorbia drupifera* and other Cameroonian medicinal plants against drug sensitive and multidrug resistant cancer cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13 : 250.

Lengani A., Lompo L. F., Guissou I. P., Nikiema J. B., 2010
Médecine traditionnelle et maladies des reins au Burkina Faso. *Néphrologue & Thérapeutique*, 6 (1) : 35-39.

Lingani M., Akita T., Ouoba S., Sanou A. M., Sugiyama A., Tarnagda Z., Ohisa M., Tinto H., Mishiro S., Tanaka J., 2018
High prevalence of hepatitis B infections in Burkina Faso (1996-2017): a systematic review with meta-analysis of epidemiological studies. *BMC Public Health*, 18 (1) : 551.

Mbaveng A. T., Kuete V., Mapunya B. M., Beng V. P., Nkengfack A. E., Meyer J. J. M., Lall N., 2011
Evaluation of four Cameroonian medicinal plants for anticancer, antigonorrheal and antireverse transcriptase activities. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 32 (2) : 162-167.

Nafiu M., Akanji M. A., Yakubu M. T., 2011
Effect of aqueous extract of *Cochlospermum planchonii* rhizome on some kidney and liver functional indicies of albino rats. *African Journal of Traditional Complementary and Alternative Medicine*, 8 (1) : 22-26.

Ojo O. A., Ojo A. B., Awoyinka O., Aijboye B. O., Oyinloye B. E., Osukova O. A., Olayide I. I., Ibitayo A., 2017
Aqueous extract of *Carica papaya* Linn. roots potentially attenuate arsenic induced biochemical and genotoxic effects in Wistar rats. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 8 (2) : 324-334.

Petrizzo A., Mauriello A., Tornesello M. L., Buonaguro F. M., Tagliamonte M., Buonaguro L., 2018
Cellular prognostic markers in hepatitis-related hepatocellular carcinoma. *Infectious Agents and Cancer*, 13 (10).

Sanou A. M., Ilboudo A. K., Meda C. Z., Togozia A., Coulibaly A., Cisse A., Sagna T., Kania D., Tarnagda Z., 2018
Hepatitis B vaccination in Burkina Faso: prevalence of HBsAg carriage and immune response in children in the Western Region. *Journal of Infection in Developing Countries*, 12 (11) : 1002-1008.

Shendge P. N., Belemkar S., 2019
Acute and 28-day oral toxicity studies of methanolic extract of *Lagenaria siceraria* (Cucurbitaceae) fruit in rats. *Drug and Chemical Toxicology*, 1-9.

Sinha B. P., Chatterjee S., Buragohain R., Samanta I., Joardar S. N., Mukherjee P., Maji A. K., Das P., Mandal T. K., Sar T. K., 2019
Efficacy evaluation of ethanolic extract of *Tamarindus indica* L. leaves as possible alternate therapy in septic arthritis model of rabbit. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19 (1) : 261.

Somanah J., Ramsaha S., Verma S., Kumar A., Sharma P., Singh R. K., Aruoma O. I., Bourdon E., Bahorun T., 2016
Fermented papaya preparation modulates the progression of N-methyl-N-nitrosourea induced hepatocellular carcinoma in Balb/c mice. *Life Sci.*, 15 (151) :330-338.

Suzuki J., Kobayashi S., Imada M., Tolba M. E., Takeuchi T., 2011
Characterization of a novel *Entamoeba histolytica* strain from Burkina Faso, Africa, possessing a unique hexokinase-2 gene. *Parasite*, 18 (4) : 287-294.

Thiombiano A., Kampmann D., 2010
« Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest », *In* Goethe-Universität Frankfurt am Main (ed.), *The tome II: Burkina Faso*, Geowissenschaften/Geographie

Trebbi D., Ravi S., Broccanello C., Chiodi C., Francis G., Oliver J., Mulpuri S., Srinivasan S., Stevanato P., 2019
Identification and validation of SNP markers linked to seed toxicity in *Jatropha curcas* L. *Scientific reports*, 9 (1) : 10220.

Warth B., Parich A., Atehnkeng J., Bandyopadhyay R., Schuhmacher R., Sulyok M., Krska R., 2012
Quantitation of mycotoxins in food and feed from Burkina Faso and Mozambique using a modern LC-MS/MS multitoxin method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (36) : 9352-9363.

Zerbo P., Millogo-Rasolodimby J., Nacoulma-Ouedraogo O. G., Van Damme P., 2011
Plantes médicinales et pratiques médicales au Burkina Faso : cas des Sanan. *Bois et forêts des tropiques*, 307 : 41-53.

Chapitre 14

Tsiperifery ou poivre sauvage de Madagascar (*Piper* spp.)

Cycle phénologique reproducteur et gestion durable

Harizoly Razafimandimby
Cenraderu/Fofifa, Madagascar

Lolona Ramamonjisoa
MEDD, Madagascar

Jean-Marc Bouvet
Cirad, France

Introduction

L'appellation « *tsiperifery* » est un des noms vernaculaires des poivriers sauvages de Madagascar qui a été adopté pour son nom commercial sur le marché international. Les poivriers appartiennent au genre *Piper* (Piperaceae). La taxonomie de ce genre est souvent lacunaire et la dernière tentative de révision mondiale remonte au début du XXe siècle (De Candolle, 1923). Une récente étude basée sur des critères morphologiques a identifié quatre types morphologiques, ou morphotypes, de *tsiperifery* (Razafimandimby, 2017 ; Razafimandimby *et al*., 2020).

Le *tsiperifery* est un produit forestier de renom à forte valeur commerciale au sein de la filière « épice ». Il connaît désormais une grande percée sur le marché international. En aval de la filière, sa cueillette constitue une activité génératrice de revenus pour les paysans vivant en lisière de forêts. Malheureusement, en plus de l'exploitation abusive (Razafimandimby *et al*., 2017), qui conduit à la raréfaction des pieds fructifères en forêt (Razafimandimby, 2017), cette filière est également menacée par des problèmes de variabilité de la qualité et du stock disponible pour l'exportation. Les méthodes de traitement post-récolte et l'hétérogénéité de la maturation des poivres à la cueillette ont été identifiés

comme à l'origine de la baisse de la qualité (Levesque, 2012). Si les problèmes liés aux traitements post-récolte peuvent être solutionnés (Weil *et al*., 2014), la phénologie de la plante est encore trop mal connue pour gérer en revanche le problème d'hétérogénéité de la maturation à la cueillette. Les données disponibles, issues des spécimens d'herbier (Manjato *et al*., 2010) et des connaissances empiriques des acteurs de la filière (Benard *et al*., 2014), sont uniquement focalisées sur la fructification et ne considèrent pas la diversité morphologique. Pourtant, la phénologie affecte la croissance, la survie et la productivité des peuplements forestiers (Jolly *et al*., 2004 ; Rotzer *et al*., 2004). En conséquence, l'insuffisance des bases scientifiques relatives à la phénologie de cette plante bloque la mise en place d'une stratégie pour sa valorisation durable.

Pour faire face à ce problème, l'étude présentée dans ce chapitre, a eu pour objectif de caractériser le cycle phénologique reproducteur de quatre morphotypes de *tsiperifery*, notamment la floraison et la fructification. La caractérisation du cycle phénologique a consisté à établir un calendrier des phases de reproduction des morphotypes et à déterminer les facteurs écologiques qui y interviennent. Les événements phénologiques permettant aux organismes de s'adapter aux variations climatiques (Chuine *et al*., 2005), les connaissances sur la diversité du cycle reproducteur de *tsiperifery* sont alors fondamentales dans l'optique d'une domestication et d'une sélection génétique.

Matériels et méthodes

Description du matériel et du site d'étude

Les *tsiperifery* sont des lianes de grande taille grimpant jusqu'à plus de 15 m sur un tuteur. La fixation sur le tuteur se fait grâce à des racines-crampons apparaissant au niveau supérieur des entrenœuds. Un dimorphisme foliaire est souvent observé sur une même plante : les plantules et les tiges orthotropes portent des feuilles cordiformes, alors que les rameaux plagiotropes ont des feuilles de forme elliptique à oblongue le plus souvent à base asymétrique. La plante est dioïque, avec des inflorescences mâles et femelles constituées d'épis solitaires opposées à la feuille. Les fleurs sont ainsi sessiles et apétales. Les fruits sont des baies rouge orangé à maturité, portées par un stipe se développant au pied de l'ovaire et se conservant lors des traitements de séchage, d'où leur nom commun « poivre sauvage à queue ». Selon les travaux de Razafimandimby (2017) et de Razafimandimby *et al*. (2020), les *tsiperifery* sont subdivisés en quatre classes morphologiques ou morphotypes codés M1, M2, M3 et M4 (fig. 1). Les principaux traits morphologiques distinctifs des quatre morphotypes de *tsiperifery* sont localisés au niveau des feuilles et des baies.

L'étude a été conduite dans cinq sites de l'aire de distribution naturelle de *tsiperifery* (à Anorana et à Tsiazompaniry dans la région Analamanga, à Sandrangato et Beforona dans la région Alaotra Mangoro et à Kianjavato dans la région Vatovavy Fitovinany). Le choix des sites d'étude a tenu compte de la distribution latitudinale de la plante et de la variation de l'altitude. Seul le morphotype M2 a été répertorié dans les cinq sites d'étude, le morphotype M3 est présent dans tous les sites, à l'exception de Beforona où seuls M1 et M4 ont été rencontrés.

Figure 1
Feuilles et baies des quatre morphotypes de tsiperifery.
© H. Razafimandimby (2020).

Collecte et traitement des données

Élaboration des calendriers phénologiques

Tsiperifery est une plante sempervirente qui ne présente pas de phénologie très marquée. En effet, ses périodes de floraison et de fructification s'étalent sur toute l'année (Razafimandimby, 2017). En conséquence, l'élaboration du calendrier phénologique reproducteur de chaque morphotype s'est focalisée sur les pics de phénophase. Pour ce faire, des suivis mensuels ont été effectués dans les cinq sites d'étude durant 24 mois (de juillet 2014 à juin 2016). Ils ont ciblé

57 individus, dont 28 mâles et 29 femelles. Chaque suivi mensuel dans chaque site a été assuré par des agents locaux préalablement formés sur la description de chaque stade du cycle phénologique et le remplissage de la fiche de suivi.

L'observation du cycle phénologique des individus femelles portait sur six phénophases : boutons floraux, fleurs épanouies, jeunes fruits, fruits immatures, fruits mûrs, fin de fructification. Le cycle phénologique reproducteur chez les individus mâles a été observé sur quatre phénophases : boutons floraux, jeunes fleurs, fleurs matures et fin de floraison (Razafimandimby, 2017). L'obtention du cycle phénologique de chaque morphotype par site est fondée sur les résultats des suivis phénologiques mensuels de chaque individu durant les deux années de l'étude et suivant la succession des phénophases ; la compilation des données a été effectuée sur Excel. Compte tenu de la dioécie chez le *tsiperifery*, les cycles phénologiques ont été établis séparément pour les individus mâles et femelles.

Identification des facteurs écologiques influant le cycle phénologique

Les précipications et la température étant les paramètres climatiques les plus influants sur la distribution de *tsiperifery* (Razafimandimby, 2011), ils constituent les facteurs écologiques considérés dans cette étude. Pour cela, ont été évaluées les variables : toposéquence (bas fond ou BF, versant ou MV, crête ou CR), altitude (relevée avec un GPS), dégré d'exposition de l'individu au soleil (évalué *in visu* suivant le degré d'ouverture de la canopée : non exposé, peu exposé, moyennement exposé et bien exposé) et site d'étude (caractérisé par l'effet combiné des variables précédentes, par son état de dégradation et les paramètres climatiques températures et précipitations).

L'influence des paramètres écologiques sur la variabilité du cycle phénologique a été identifiée à travers l'analyse de la variance de la répartition mensuelle des phénophases du cycle reproducteur en fonction des paramètres écologiques sélectionnés. Afin de considérer l'interaction avec l'influence des morphotypes, une analyse de la variance uniquement de l'effet du paramètre écologique a été d'abord effectuée. Ensuite, l'interaction paramètre écologique/morphotype a été considérée. Ces analyses ont été effectuées avec le package « stats » du logiciel R avec la fonction aov, dont la formule est :

$$aov(Y \sim X*z)$$

où X représente la phénophase considérée, Y le paramètre écologique et z les morphotypes.

Résultats

Calendriers phénologiques reproducteurs de chaque morphotype

Les analyses des données issues des suivis phénologiques mensuels ont permis d'établir les calendriers phénologiques reproducteurs des morphotypes de *tsiperifery* femelles et mâles (fig. 2 et 3).

Figure 2
Cycle phénologique reproducteur annuel des morphotypes femelles de tsiperifery *par site.*

Chez les individus femelles et mâles de M1, les cycles phénologiques reproducteurs comprennent deux pics annuels de floraison et de fructification. Chez les individus femelles, les premiers pics des phénophases sont observés de juin à novembre et les deuxièmes de janvier à mai. Chez les individus mâles, les pics de floraison sont observés durant les mois de juin, juillet, janvier et février. La maturation des fleurs, ou maturation des pollens, a lieu en juillet pour le premier pic et en janvier pour le deuxième. Elle coïncide avec les deux pics d'épanouissement des fleurs femelles.

Pour M2, les cycles phénologiques reproducteurs des individus femelles et mâles sont caractérisés par la présence de deux pics de floraison et de fructification par an et une variation en fonction des sites d'étude. Les pics des phénophases de la floraison et de la fructification sont similaires à Anorana et Tsiazompaniry ;

Figure 3

Cycle phénologique reproducteur annuel des morphotypes mâles de tsiperifery *par site.*

toutefois, les deuxièmes pics des phénophases de la fructification à Tsiazompaniry n'ont pas lieu. En fait, le début de la fructification, qui devrait commencer au mois de juin, coïncide avec l'arrivée de la saison hivernale qui s'accompagne de gelées qui sèchent et font tomber les épis.

Les cycles phénologiques reproducteurs des individus femelles et mâles de M3 sont également caractérisés par la présence de deux pics de floraison et de fructification par an et une variation en fonction des sites d'étude. Ils sont presque similaires à ceux de M2 au niveau de chaque site.

Pour M4, uniquement rencontré à Beforona, un seul pic a eu lieu durant les deux années de suivi. Par conséquent, le cycle reproducteur de M4 pourrait être caractérisé par la présence de pics bisannuels ou des pics de floraison et de fructification asynchrones. En effet, ce résulat mérite d'être vérifié en continuant le suivi pendant deux années supplémentaires au minimum. Les pics de phénophases observés pour M4 se passent pendant l'hiver.

La durée de chaque phénophase est plus ou moins identique pour les quatre morphotypes dans les cinq sites d'études. Les pics de floraison des pieds femelles (boutons floraux et fleurs épanouies) ont une durée d'un à deux mois et ceux des pieds mâles (boutons floraux, jeunes fleurs, fleurs matures, fin de floraison) dure deux mois. Les pics de fructification (apparition des jeunes fruits, fin de fructification) de la saison estivale et de la saison hivernale durent quatre mois : d'octobre à janvier et d'avril à juillet. Ces résultats montrent que ni la diversité

morphologique ni la variation saisonnière n'influent de manière significative sur la durée des phénophases.

Pour les quatre morphotypes, le début des pics de la floraison des individus mâles coincide avec celui des individus femelles. Cette comparaison tient compte des morphotypes et des sites. En effet, les périodes de maturation des pollens se superposent avec celles de l'apparition des stigmates (fleurs épanouies) qui ont lieu aux mois de juillet et février pour M1, en avril, mai et septembre pour M2 et M3 et au mois d'avril pour M4.

Influence des paramètres écologiques sur la phénologie

Les résultats de l'analyse de la variance de la distribution mensuelle de chaque phénophase des deux pics de la phénologie de reproduction chez *tsiperifery,* en fonction des paramètres écologiques et de l'interaction entre les paramètres écologiques/morphotype (tabl. 1), montrent que le paramètre influant le plus sur la variation mensuelle du cycle phénologique est le site lui-même. Il influe sur les six phénophases (boutons floraux, fleurs épanouies, jeunes fruits, fruits immatures, fruits matures et fin de fructification) du premier pic et sur les stades « boutons floraux, fleurs épanouies et fruits immatures » du deuxième pic chez les individus femelles ; il influe également sur toutes les phénophases (boutons floraux, jeunes fruits, fleurs matures et fin de floraison) des deux pics chez les individus mâles. Vient ensuite l'altitude pour laquelle on constate des variances significatives ($p < 0,05$) pour huit phénophases (les six phénophases du premier pic et les stades « boutons floraux et fleurs épanouies » du deuxième pic) sur les douze identifiées pour les individus femelles et les quatre du premier pic pour les individus mâles. Ce résultat montre que ce paramètre influe sur la distribution des phénophases au cours des mois, donc sur le cycle phénologique de *tsiperifery*. La toposéquence impacte sept phénophases femelles (six phénophases du premier pic et le stade « jeunes fruits » du deuxième pic) et sur les stades « boutons floraux et fleurs matures » des deux pics des phénophases mâles. Le degré d'exposition n'a d'effets que sur la distribution mensuelle des stades « boutons floraux, jeunes fruits, fruits immatures et fruits matures » du premier pic des phénophases femelles et sur quatre phénophases mâles (boutons floraux et fleurs matures des deux pics) avec des valeurs de p peu significatives ($0,05 > p > 0,01$). Ce paramètre a alors moins d'influence sur le cycle phénologique.

Le site et l'altitude influencent le plus le cycle phénologique, ce qui traduit l'importance de l'interaction des différents paramètres. Cela explique ainsi le décalage entre les débuts des pics du cycle phénologique dans les sites. Dans les forêts de haute altitude de Tsiazompaniry (1 400 m) et d'Anorana (1 200 m), la floraison des morphotypes commence plus tardivement que celle des forêts de plus basses altitudes.

Les variances considérant l'interaction de l'altitude, de la toposéquence et du degré d'exposition avec les morphotypes ne sont pas significatives pour toutes les phénophases. Elles sont également non significatives ou peu significatives

Tableau 1
Valeurs de p de l'analyse de la variance de la distribution mensuelle de chaque phénophase en fonction des paramètres écologiques (altitude, topographie, exposition et site) et de l'interaction paramètres écologiques/morphotype (paramètre écologique M) pour les deux pics du cycle phénologique de* tsiperifery.
Les cases colorées en gris correspondent à des valeurs de p < 0,05.

Sexe	Phénophase (pics 1 et 2)	Alt.	Alt.*M	Topo	Topo*M	Expo	Expo*M	Site	Site*M
Femelle	Boutons floraux 1	0,000	0,259	0,000	0,542	0,018	0,324	0,000	0,035
	Fleurs épanouies 1	0,000	0,364	0,001	0,484	0,127	0,769	0,000	0,025
	Jeunes fruits 1	0,000	0,259	0,000	0,542	0,008	0,286	0,000	0,035
	Fruits immatures 1	0,000		0,001	0,751	0,023	0,389	0,000	0,754
	Fruits matures 1	0,000	0,207	0,000	0,492	0,031	0,975	0,000	0,049
	Fin de fructification 1	0,000	0,396	0,002	0,023	0,496	0,493	0,000	0,000
	Boutons floraux 2	0,001	0,837	0,088	0,091	0,159	0,935	0,000	0,690
	Fleurs épanouies 2	0,002	0,837	0,319	0,301	0,171	0,943	0,000	0,741
	Jeunes fruits 2	0,826	0,575	0,000	0,000	0,825	0,776	0,781	0,709
	Fruits immatures 2	0,165	0,703	0,332	0,459	0,180	0,352	0,020	0,153
	Fruits matures 2	0,551	0,439	0,492	0,001	0,122	0,505	0,125	0,681
	Fin de fructification 2	0,688	0,740	0,174	0,001	0,584	0,520	0,697	0,952
Mâle	Boutons floraux 1	0,001	0,492	0,006	0,546	0,018	0,324	0,000	0,085
	Jeunes fleurs 1	0,008	0,618	0,154	0,227	0,119	0,063	0,000	0,063
	Fleurs matures 1	0,001	0,492	0,006	0,546	0,018	0,324	0,000	0,085
	Fin de floraison 1	0,025	0,400	0,232	0,136	0,171	0,058	0,001	0,066
	Boutons floraux 2	0,085	0,690	0,021	0,421	0,021	0,505	0,000	0,915
	Jeunes fleurs 2	0,235	0,941	0,074	0,458	0,107	0,710	0,002	0,867
	Fleurs matures 2	0,152	0,445	0,014	0,388	0,017	0,417	0,000	0,766
	Fin de floraison 2	0,342	0,489	0,280	0,382	0,397	0,532	0,034	0,965

pour l'interaction site/morphotype. Ces résultats montrent que les paramètres écologiques n'ont pas, ou ont peu, d'influence sur le cycle phénologique au sein d'un même morphotype.

Les résultats des analyses de la variance en fonction du morphotype et des paramètres écologiques (tabl. 1) permettent de conclure que le cycle phénologique de *tsiperifery* varie en fonction des morphotypes. Les cycles phénologiques des quatre morphotypes ne sont pas similaires. Les facteurs écologiques relatifs à la température, à la disponibilité en eau et à la photopériode n'ont que de faibles influences sur le cycle phénologique des individus appartenant à un même morphotype.

Discussion

Tsiperifery est une ressource forestière à haute valeur ajoutée mais peu connue sur le plan scientifique (Razafimandimby *et al.*, 2017). Les résultats de cette étude sont les premières connaissances scientifiques en matière de phénologie des poivriers sauvages de Madagascar. Par conséquence, les comparaisons discutées dans cette partie se refèrent soit à des connaissances empiriques, soit à des espèces similaires.

Concernant les calendriers phénologiques, deux pics de saison de maturation des fruits sont observés chez les morphotypes de *tsiperifery*. Le premier pic est enregistré pendant la saison estivale (septembre à décembre) et le deuxième pendant l'hiver (mai, juin). Ces saisons correspondent aux campagnes de collecte de *tsiperifery* dans le bassin de collecte d'Anjozorobe Angavo et d'Anosibe An'ala (Touati, 2012 ; Benard *et al*., 2014). L'existence de deux pics de phénophase de la reproduction identifiés pour M2, M3 et M1 est également un phénomène fréquent chez les Piperaceae. Deux pics de fructification ont été observés chez *Piper guineense* au Togo. Le premier s'étale d'avril à juin et le deuxième de septembre à novembre (Atato *et al*., 2012). Dans deux sites situés dans une forêt semi-décidue du sud-est du Brésil (station expérimentale de Jundia et réserve de Santa Genebra), quatorze espèces de Piperaceae (onze *Piper*, deux *Ottonia* et une *Potomorphe*) fleurissent toute l'année avec deux pics : en septembre-octobre et en février-mars-avril (De Figueiredo et Sazima, 2000). Chez les quatre morphotypes de *tsiperifery*, la période de maturation des pollens coïncide avec l'apparition du stigmate. En fait, l'épanouissement des fleurs femelles est provoqué par la fécondation chez beaucoup d'espèces de *Piper* (Valentin-Silva *et al*., 2015).

Cette étude montre que la variation du cycle phénologique est tributaire des morphotypes. De même, les phénologies de deux nouvelles espèces sympatriques de *Piper* des Grandes Antilles sont différentes. La floraison de *Piper abajoense* débute en janvier et la fructification entre juin et septembre. Pour *Piper claseanum,* la dernière floraison et la maturation des fruits sont observées en janvier (Bornstein *et al*., 2014). Les auteurs ont utilisé ce décalage des périodes de floraison et de fructification dans la description de ces espèces. Les résultats trouvés par ces différents auteurs sur d'autres espèces concordent avec ceux trouvés pour les morphotypes de *tsiperifery*. Ils montrent que le déterminisme du comportement phénologique est une intégration de facteurs endogènes – le génome qui régit le rythme individuel de croissance, les états d'organisation structurale, les physiologies spécifiques, etc. – et de facteurs exogènes tels que les paramètres climatiques et l'altitude (Loubry, 1994).

Cette étude a produit les premières connaissances scientifiques sur la phénologie de *tsiperifery* par le biais des suivis phénologiques qui prennent en compte la diversité morphologique. La phénologie est un élément clé de l'adaptation des êtres vivants aux variations climatiques et constitue ainsi un marqueur du climat de première importance. Dans ce contexte, cette étude doit être poursuivie par

des recherches qui visent à identifier l'effet du changement climatique sur cette ressource naturelle d'importance sociale et économique. Ces résultats permettraient d'identifier des actions à mettre en place pour son adaptation au changement climatique et/ou pour l'atténuation des effets du changement climatique sur la ressource en *tsiperifery*. De telles connaissances contribueraient pertinemment sur sa conservation et valorisation durable.

Conclusion

Les individus de *tsiperifery* sont fertiles tout au long de l'année. Leurs cycles phénologiques reproducteurs sont marqués par deux pics de phénophase. La distribution mensuelle des pics de chaque phénophase a permis d'élaborer le cycle phénologique reproducteur de chaque morphotype.

Le morphotype a davantage d'influence sur la variabilité mensuelle des pics de phénophases. Le cycle phénologique reproducteur des morphotypes M2, M3 et M4 présente deux pics de phénophases tandis que celui de M1 pourrait être asynchrone. Les paramètres écologiques tels que le site et l'altitude ont une légère influence sur la variabilité intra-morphotype de la distribution des phénophases. Le déterminisme du comportement phénologique reproducteur de *tsiperifery* est donc une intégration des facteurs endogènes représentés par les morphotypes et de facteurs exogènes, tels que l'habitat et l'altitude.

Les résultats obtenus dans cette étude peuvent être valorisés en vue de la gestion durable de *tsiperifery.* Entre autres, la détermination des campagnes de collecte permettrait un meilleur suivi de la collecte par l'administration forestière. Par ailleurs, l'homogénéisation de la qualité des produits collectés améliorerait la qualité des produits mis sur le marché.

Ces résultats pourront également servir à d'autres travaux de recherche sur cette ressource, notamment sur sa domestication et sur la structure de ses populations. Des lacunes ont toutefois été identifiées dans notre étude, liées à la durée et la fréquence des suivis, et à la distribution géographique des sites d'étude. Par ailleurs, pour améliorer sa gestion durable, des recherches relatives à l'impact du changement climatique sur cette ressource devraient être menées.

Références bibliographiques

Atato A., Wala K., Dourma M., Bellefontaine R., Woegan Y. A., Batawila K., Akpagana K., 2012
Espèces lianescentes à fruits comestibles du Togo. *Fruits*, 67 (5) : 353-368.

Benard A. G., Andrianoelisoa H. S., Razafimandimby H., Aubert S., Danflous J. P., 2014
Synthèse bibliographique sur la filière poivre sauvage à Madagascar. Cirad, Montpellier, 35 p. www.agritrop.cirad.fr.

Bornstein A. J., Smith J. F., Tepe E. J., 2014
Two new species of *Piper* from the Greater Antilles. *SystematicBotany*, 39 (1) : 10-16.

Chuine I., Seguin B., Lebourgeois F., 2005
« Un réseau d'observations phénologiques pour la gestion du changement climatique ». *In* Landmann G., Landeau S. (coord.) : *Actes du colloque « De l'observation des écosystèmes forestiers à l'information sur la forêt »*, 22-23 fév. 2005, Paris : 61-112. www.symposcience.org

De Candolle C., 1923
Piperacearum clavisanalytica, *Candollea,* 1 : 65-415.

De Figueiredo R. A., Sazima M., 2000
Pollination biology of Piperaceae species in southeastern Brazil. *Annals of Botany*, 85 (4) : 455-460.

Jolly W. M., Nemani R., Running S. W., 2004
Enhancement of understory productivity by asynchronous phenology with overstory competitors in a temperate deciduous forest. *Tree Physiology*, 24 : 1069-1071.

Levesque A., 2012
Étude de différents schémas de vie mis en œuvre sur le tsiperifery-*poivre sauvage malgache. Observation et description des étapes post-récolte d'un produit à haute valeur ajoutée*. Qualireg, La Réunion, Cirad, Montpellier SupAgro, Montpellier, 98 p.

Loubry D., 1994
Déterminisme du comportement phénologique des arbres en forêt tropicale humide de Guyane française. Thèse de doctorat, université Paris-VI, 524 p.

Manjato N., Ramahefarivelo A., Davidson C., Phillipson P., 2010
« Piperaceae. Malagasy species of *Piper* ». *In* Jeannoda V. H. *et al.* (éd.) : *Proceeding of* XIXe *congrès de l'AETFAT,* Antananarivo : 284.

Raherinjatovoarison D., 2017
Modélisation de l'aire de distribution de tsiperifery *(*Piper *spp.) pour sa gestion durable à Madagascar*. Mémoire de master 2, université d'Antananarivo, 53 p.

Razafimandimby H., 2011
Études écologique et ethnobotanique de tsiperifery (Piper *spp.) de la forêt de Tsiazompaniry pour une gestion durable*. Mémoire de DEA, université d'Antananarivo, 48 p.

Razafimandimby H., 2017
Études de la diversité morphologique, biologique et écologique de tsiperifery (Piper *spp.) pour la gestion durable des ressources génétiques à Madagascar.* Thèse de doctorat, université d'Antananarivo, 237 p.

Razafimandimby H., BenardA. G., AndrianoelisoaH., Leong J. M., Touati G., Levesque A., Weil M., Randrianaivo R., Ramamonjisoa L., Queste J., Aubert S., Danflous J. P., Danthu P., 2017
Tsiperifery, the wild pepper from Madagascar, emerging on the international spice market whose exploitation is unchecked: current knowledge and future prospects. *Fruits*, 72 (6) : 331-340.

Razafimandimby H., Gautier L., Bouvet J.-M., Danthu P., Ramamonjisoa L., 2020
Characterization of the phenotypic diversity of *tsiperifery* (*Piper* spp.), the wild pepper from Madagascar under-studied in spite of its international fame. *ActaHorticulturea,* 1267 : 39-44.

RotzerT., Grote R., Pretzsch H., 2004
The timing of bud burst and its effect on tree growth. *International Journal of Biometeorology*, 48 : 109-118.

Touati G., 2012
État des lieux de la filière du poivre sauvage de Madagascar. Un produit forestier non ligneux exploité pour la commercialisation.
Mémoire de fin d'étude, École supérieure d'agrodéveloppement international, Cergy-Pontoise, 78 p.

Valentin-Silva A., De Miranda Coelho V. P., Ventrella M. C., Vieira M. F., 2015
Timing of pollen release and stigma receptivity period of *Piper vicosanum*: new insights into sexual reproduction of the genus. *American Journal of Botany*, 102 (4) : 626-633.

Weil M., Descroix F., Sing A. S. C., Boulanger R., Hoarau M., Levesque A., Bohuon P., 2014
Postharvest treatments of wild pepper *(Piper* spp.) in Madagascar. *Fruits*, 69 (5) : 371-380.

Chapitre 15

Analyse architecturale des *Baracoffea*, caféiers sauvages endémiques de la côte ouest de Madagascar

Cas de *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* Davis & Rakotonasolo (Rubiaceae)

Marie Élodie Vavitsara
Université de Mahajanga, Madagascar

Rickarlos Bezandry
Université de Mahajanga, Madagascar

Sylvie Annabel Sabatier
Cirad, France

Introduction

Madagascar est un sanctuaire de caféiers sauvages. Sur les 124 espèces de caféiers inventoriées dans le monde, 61 sont présentes à Madagascar (Davis, 2010, 2011 ; Davis *et al*., 2006, 2011). Le genre *Coffea* est subdivisé en deux sous-genres : le sous-genre *Coffea* (à feuilles persistantes) et le sous-genre *Baracoffea* (à feuilles caduques) (Bridson et Verdcourt, 1988 ; Davis *et al.*, 2006). Ce dernier regroupe neuf espèces endémiques xérophytiques ayant des caractéristiques morphologiques d'adaptation à la sècheresse, comme la chute des feuilles pendant la saison sèche. Le sous-genre *Baracoffea* est présent exclusivement dans les forêts sèches de la côte ouest de Madagascar (Davis *et al*., 2008). Il présente ainsi un intérêt économique et botanique potentiel dans le contexte du changement climatique actuel grâce à sa capacité d'adaptation à la sècheresse. En outre les modèles de simulation intégrant l'augmentation de la température prévoient une réduction des surfaces cultivables en caféiers Arabica au cours des cinquante prochaines années (Davis *et al*., 2012).

Par ailleurs, à Madagascar, l'expansion agricole et l'exploitation commerciale du bois ont fortement fragmenté la forêt et modifié considérablement les écosystèmes forestiers naturels (SalvaTerra et UCL, 2017). Ainsi, près de 75 % des espèces malgaches de caféiers, et en particulier le sous-genre *Baracoffea,* sont classées comme vulnérables, menacées ou fortement menacées de disparition selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (Davis *et al*., 2006). De plus, ces caféiers, fortement menacés d'extinction, sont absents de la seule collection vivante de caféiers à Madagascar située à Kianjavato (côte est). Peu de recherches approfondies ont concerné ce groupe de caféier (Davis *et al.*, 2006). Il est donc indispensable de mieux comprendre les modes de développement et de croissance de ces ressources biologiques afin d'élaborer des recommandations pour leur conservation. L'analyse architecturale est l'une des méthodes d'étude des modes de croissance et de développement des plantes (Hallé *et al.*, 1978).

Cette étude s'intéresse à l'une des espèces du sous-genre *Baracoffea* endémique de la province de Mahajanga – *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* A. P. Davis & Rakotonasolo – avec comme hypothèse que les modes de croissance et de développement du sous-genre *Baracoffea* sont différents, du fait de son feuillage caduc, de ceux du sous-genre *Coffea*.

Cette recherche a pour objectif de déterminer les modèles architecturaux du sous-genre *Baracoffea*, plus précisément de l'espèce *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* présente dans le parc national d'Ankarafantsika afin de proposer des stratégies pour sa conservation.

Matériels et méthodes

Zone d'étude

L'étude a été faite dans la partie nord-ouest de Madagascar, notamment dans le jardin botanique A (JBA) du parc national d'Ankarafatsika. Celui-ci se situe dans le district de Marovoay (région Boeny, province de Mahajanga). Le parc national d'Ankarafantsika est situé à 114 km de la ville de Mahajanga et à 450 km d'Antananarivo en suivant la route nationale RN4. Ses coordonnées géographiques se situent entre les latitudes 16°00' et 16°19' Sud et les longitudes 46°34' et 47°17' Est. Son altitude varie de 30 à 380 m. La zone d'étude couvre environ 130 000 ha et sa végétation est caractérisée par une forêt dense sèche, avec un degré d'aridité croissant, du nord au sud.

Matériel biologique

Pour réaliser ce travail, des spécimens de l'espèce *Coffea grevei* ssp. *Mahajangensis* ont été utilisés.

Détermination des traits architecturaux

Les différents traits morphologiques de l'espèce étudiée ont été observés, photographiés et dessinés. Les observations n'ont concerné que la partie aérienne de la plante. Cinq individus à différents stades de développement ont été choisis au hasard pour faire l'objet d'observations. Les critères de description et d'analyse architecturale étaient les suivants : les modes de croissance, les modes de ramification, les différenciations morphologiques des axes et la position de la sexualité, la symétrie des axes, la phyllotaxie.

Détermination des paramètres architecturaux

La détermination des paramètres architecturaux consiste à réaliser des mesures des plantes. La longueur de l'entrenœud est mesurée entre les cicatrices foliaires, son diamètre est mesuré au-dessus de l'insertion des rameaux. La longueur de la feuille se mesure de la base du pétiole jusqu'au sommet de la feuille et la largeur prise en compte est celle la plus importante.

Détermination du modèle architectural

Le modèle architectural se détermine à partir des traits morphologiques principaux : la phyllotaxie, le mode de croissance, le mode de ramification, la différenciation morphologique des axes, la position de la sexualité et la réitération architecturale (Hallé et Oldeman, 1970 ; Hallé *et al.*, 1978 ; Jeannoda-Robinson, 1977).

La phyllotaxie

La phyllotaxie est la disposition des feuilles par rapport à l'axe porteur. Les feuilles sont alternes quand une seule feuille est positionnée sur chaque nœud ; elles sont opposées lorsque deux feuilles sont insérées face à face sur un nœud ; elles sont verticillées quand le nœud porte trois feuilles ou plus, disposées en couronne (Heuret *et al.*, 2002).

Le rythme et la modalité de croissance

Le rythme peut être continu ou rythmique et à modalité indéfinie ou définie. La croissance d'un axe est continue s'il n'existe aucune phase de repos durant la période d'allongement. La croissance rythmique d'un axe est caractérisée par une alternance régulière de phases d'activité et de repos. On parle de croissance définie, lorsque le méristème apical d'un axe feuillé à un moment donné de sa vie, se transforme en une structure incapable de poursuivre un fonctionnement végétatif ultérieur (fleur, inflorescence, épine, vrille, tissu parenchymateux, etc.) ou s'il meurt ou avorte. En revanche, si le méristème terminal est capable de garder la potentialité de fonctionner indéfiniment, on parle de croissance indéfinie.

Le mode de ramification

Le mode de ramification peut être terminal ou latéral ; l'axe végétatif aérien peut être ramifié ou non ramifié. La plupart des plantes sont constituées d'un appareil végétatif aérien ramifié. Plusieurs types de ramification existent dans la nature. La ramification terminale résulte de la division du méristème apical en plusieurs parties égales ou inégales. On ne la rencontre que chez les fougères et les mousses. La ramification latérale, adoptée par la majorité des plantes vasculaires, provient du développement du rameau à partir du méristème axillaire à l'aisselle des feuilles.

La ramification résulte ainsi du mode de fonctionnement des méristèmes. Dans le cas d'une ramification latérale et d'une croissance indéfinie des axes, la ramification est dite « monopodiale ». Elle peut être continue ou rythmique. Dans le cas contraire, lorsque la croissance des axes est définie et que les méristèmes latéraux ou axillaires assurent leurs relais, il s'agit d'une ramification « sympodiale ».

La symétrie des axes

La symétrie des axes est définie selon la direction de croissance d'un axe feuillé. Ce caractère est très important dans la stratégie de croissance des végétaux. En fonction de cette direction, on distingue schématiquement des axes orthotropes (direction de croissance verticale) et des axes plagiotropes (direction de croissance horizontale).

La position de la sexualité

Elle est définie selon l'emplacement ou le type du méristème donnant naissance aux fleurs ou aux inflorescences. Deux possibilités de position de la sexualité sont envisagées, latérale ou terminale.

La réitération architecturale

Le modèle architectural initial d'une plante débute avec la germination, suivie de la formation successive et ordonnée d'organes donnant une ramification appelée « ramification séquentielle ». Les méristèmes inactifs au sein du modèle initial peuvent être activés. Leur développement amène à dupliquer le modèle architectural initial chez un même arbre ; ce phénomène est appelé la « réitération du modèle » (Oldeman, 1974).

Résultats

Traits architecturaux

Les traits architecturaux qui émergent de cette étude sont résumés dans le tableau 1. Celui-ci présente le diagramme architectural – ou unité architecturale –

de *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis*, qui inclut toutes les caractéristiques de sa croissance et de son développement.

Tableau 1
Unité architecturale de Coffea grevei *ssp.* mahajangensis.

	Tronc (A1)*	**Branches (A2, A3, A4)***
Modalité de croissance	Croissance indéfinie	Croissance indéfinie
Symétrie des axes	Symétrie orthotrope	Symétrie plagiotrope, orthotrope
Phyllotaxie	Opposée décussée	Opposée simple
Ramification	Ramification latérale, diffuse, immédiate	Ramification latérale, diffuse, immédiate
	Ramification monopodiale	Ramification monopodiale
Sexualité	Sexualité latérale	Sexualité latérale, terminale
Réitération	Réitération proleptique ou différée Réitération traumatique Réitération partielle	Réitération sylleptique ou immédiate Réitération traumatique Réitération partielle

* A1 : axe principal issu de la germination, A2 : axe latéral (rameau) issu des méristèmes latéraux sur l'axe A1, A3 : est issu de A2, A4 issu de A3, etc. (A2, A3, A4, etc. forment les branches).

Modèle architectural

Le tronc orthotrope présente une ramification latérale, diffuse, immédiate et forme des étages de branches plagiotropes. Le système ramifié est monopodial combinant des branches à axes orthotropes (issus de bourgeons surnuméraires) et plagiotropes. La sexualité est essentiellement latérale. Ainsi, *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* correspond à un modèle combinant celui de Roux (fig. 1A) et celui d'Attims (fig. 1B).

Figure 1
Représentation graphique des traits morphologiques déterminant le modèle architectural de Coffea grevei *ssp.* mahajangensis.

Paramètres architecturaux

Nombre moyen d'entrenœuds selon l'ordre de ramification

Le nombre moyen d'entrenœuds a été compté sur des individus de stade adulte. Ce nombre diffère pour chaque type d'axe d'après les caractéristiques de la figure 2.

Par ordre d'apparition, A1 correspond à l'axe principal issu de la germination ; A2 est un axe latéral (rameau) issu des méristèmes latéraux sur l'axe A1 ; l'axe A3 est issu de A2 et A4 est issu de A3. Les axes A2, A3, A4, etc., forment les branches). Pour ces quatre types d'axe, ce sont les axes d'ordre 2 et 3 (A2 et A3, branches) qui ont un nombre moyen d'entrenœuds le plus important, respectivement 17,20 et 17,40 (fig. 2) ; les axes d'ordre 1 et 4 (A1 et A4) en ont moins (14,40 et 8,75 respectivement). Les axes A2 et A3 sont les plus développés, avec un nombre d'entrenœuds plus élevé.

Figure 2
Nombre moyen d'entrenœuds de Coffea grevei *ssp.* mahajangensis *selon l'ordre de ramification.*

Longueur moyenne des entrenœuds

La longueur moyenne des entrenœuds est liée à deux paramètres : le numéro d'ordre de l'axe et le stade de développement. Pour les cinq individus de *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* mesurés, la longueur moyenne des entrenœuds varie d'un individu à l'autre. Toutefois, ces longueurs sont influencées par les numéros d'ordre des axes. En effet, les axes d'ordre 1 (A1) ont des longueurs plus importantes par rapport aux axes d'ordre 2 et 3 (A2 et A3) (fig. 3A).

Figure 3
Paramètres architecturaux de Coffea grevei.

Diamètre moyen des entrenœuds

La mesure des diamètres des entrenœuds ne se fait qu'à partir des individus à trois ordres de ramification (ou au stade 3 de développement). De ce fait, le diamètre des entrenœuds diminue en fonction de l'ordre de ramification des axes. Quel que soit leur stade de développement, cette distinction est surtout visible pour les axes A1 et A2. Néanmoins, le diamètre moyen des entrenœuds s'accroît en fonction du stade de développement, de sorte que les individus des stades 4 et 5 de développement ont des diamètres plus importants que ceux du stade 3 (fig. 3B). Le diamètre moyen des entrenœuds de l'axe A1 (le tronc) est de 10,21 cm, les branches A2 et les rameaux A3 mesurent respectivement 3,69 cm et 3,30 cm de diamètre.

Longueur et largeur moyennes des feuilles

Les feuilles sont pétiolées, de type simple, avec un limbe pubescent de forme elliptique mesurant en moyenne 10,3 cm de long et 4,3 cm de large. Le limbe est dressé par une nervure principale et des nervures secondaires.

Discussion

Selon Barthélémy *et al*. (1989), la structure d'une plante au cours de son développement est le résultat d'interactions entre les processus morphogénétiques

endogènes et les contraintes extérieures. Dans le cas de *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis*, les contraintes externes agissent sur sa structure, en provoquant la mortalité précoce des méristèmes apicaux ainsi que l'orthotropie et la plagiotropie des axes.

La mortalité précoce des bourgeons apicaux sur l'axe principal A1 engendre un système ramifié pseudo-sympodial (Barthélémy *et al*., 1989). Chez *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis,* la mortalité précoce des bourgeons apicaux de l'axe principal A1 donne naissance à plusieurs relais orthotropes dont un seul assurera le relais du tronc à long terme. Lorsque ce phénomène se répète à plusieurs reprises sur le même individu, le développement de *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* semble, à première vue, sympodial. Pourtant, les résultats d'analyse architecturale de cette espèce indiquent qu'elle a en fait un développement monopodial. En 1996, J. F. Leroy a constaté qu'il existait des espèces de caféiers sauvages à développement sympodial, notamment *Coffea grevei* Drake ex. Chevalier, dans les forêts sèches de l'ouest de Madagascar. Selon cette étude, cette mortalité précoce des méristèmes apicaux pourrait faire suite à des stress environnementaux.

La combinaison des axes orthotropes et plagiotropes est la réponse morphogénétique de l'espèce étudiée lorsqu'elle subit des stress environnementaux. Dans son organisation classique, le tronc a une direction de croissance verticale, tandis que les branches ont exclusivement des directions de croissance horizontale. Suite à un stress, le tronc traumatisé développe un ou plusieurs axe(s) orthotrope(s) à partir des bourgeons axillaires surnuméraires. Il existe ainsi des branches orthotropes et plagiotropes sur l'axe principal. Cette combinaison de modèle est déjà signalée par Edelin (1981) sur les conifères. Selon ce même auteur, le mode de croissance des conifères correspond généralement à deux modèles : celui d'Attims et celui de Massart.

C. grevei ssp. *mahajangensis* est loin d'être la seule espèce du genre *Coffea* équipée de bourgeons axillaires surnuméraires. Les caféiers sauvages de la section *Mascarocoffea* étudiés par Andrianasolo (2012) développent aussi des bourgeons axillaires surnuméraires dont la fonction est identique à celle décrite ci-dessus. La présence de tels bourgeons est aussi une caractéristique des plantes de la famille des Rhamnaceae (Tourn *et al*., 1992). Par ailleurs, les traits morphologiques décrits par Andrianasolo (2012) sur les *Mascarocoffea* sont identiques à ceux de *C. grevei* ssp. *mahajangensis*, à savoir un tronc orthotrope à croissance indéfinie, continue, à développement monopodial, à phyllotaxie opposée décussée, à floraison latérale et à élagage des branches à long terme. Le développement de *C. grevei* ssp. *mahajangensis* est donc similaire à celui des Mascarocoffea.

Toutes ces structures sont fonctionnelles, c'est-à-dire qu'elles permettent une exploitation optimale du milieu auquel elles sont fixées (Thompson, 1992). À titre d'exemple, l'orthotropie de l'axe primaire joue un rôle principal dans l'exploration de l'espace, à savoir l'édification et la disposition des catégories d'axes de la plante dans les territoires inoccupés. La direction de croissance

plagiotrope (branches, rameaux, ramilles, rameaux courts), quant à elle, participe à la colonisation et à l'exploitation de l'espace, permettant de renforcer l'efficacité de la disposition des surfaces assimilatrices (Charles-Dominique, 2011).

Concernant les paramètres architecturaux, une diminution progressive de la dimension et de la longueur des entrenœuds entre entités portées et entités porteuses, est observée. En effet, en allant du tronc vers l'ordre de ramification ultime, la longueur et le diamètre des entrenœuds diminuent progressivement. Toutefois, ces valeurs sont plus importantes selon leur stade de développement. Ce phénomène caractérise aussi le développement des *Mascarocoffea* (Andrianasolo, 2012).

Conclusion

Cette étude a permis de connaître l'architecture des *Baracoffea,* notamment de *Coffea grevei* sbsp. *mahajangensis*. En début de croissance, le modèle architectural correspond au modèle de Roux, avec un tronc orthotrope et des branches exclusivement plagiotropes à croissance indéfinie. Quand la plante subit un stress environnemental (hydrique) et/ou anthropique, le modèle de Roux se combine avec celui d'Attims. Un modèle intermédiaire en résulte, exprimant une combinaison de branches plagiotropes et orthotropes sur un même tronc. En outre, la taille des entrenœuds des différentes catégories d'axe diminue vers la périphérie des axes. Tous ces traits morphologiques sont fonctionnels dans la colonisation, l'exploration et l'exploitation du milieu dans lequel les plantes se développent.

L'hypothèse de départ est donc rejetée, puisqu'il n'existe aucune différence entre les modes de croissance et de développement des sous-genres *Baracoffea* et *Coffea,* et ce malgré la potentialité xérophytique des *Baracoffea*.

Après l'acquisition des traits morphologiques exprimant leur architecture, le développement des arbres de *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* continue jusqu'à leur mort. Il serait intéressant de réaliser un suivi du développement et de la phénologie de cette espèce afin de compléter les données recueillies et analysées dans cette étude. Par ailleurs, une étude génétique de *Baracoffea* serait nécessaire pour développer la première base de données génétiques de ce sous-genre.

Au terme de ce travail, deux recommandations peuvent être formulées concernant la conservation des *Baracoffea* et l'avenir de la caféiculture à Madagascar.

– Afin de conserver les espèces de *Baracoffea,* il serait nécessaire de les mettre en culture (régénération) *in situ* et *ex situ*. En effet, *Coffea grevei* ssp. *mahajangensis* est menacée dans ses habitats naturels du fait des pressions anthropiques, ce qui impacte sa régénération et ses modes de développement et de croissance (architecture).

– Les surfaces cultivables en caféiers diminuent du fait du changement climatique. Il est donc primordial de sélectionner ou de créer de nouvelles variétés de caféiers adaptées à des conditions climatiques sévères. À ce titre, *Baracoffea* est un bon candidat car les espèces de ce sous-genre sont déjà pourvues des caractères morphologiques d'adaptation à de telles conditions climatiques. Une station de recherche sur les caféiers, identique à celle de Kianjavato, devrait être conçue dans la région ouest de Madagascar. Elle inclurait la collection vivante de toutes les espèces de *Baracoffea*, qui vivent exclusivement dans la forêt sèche de l'ouest de Madagascar, et ce afin de conserver leurs diversités spécifiques et génétiques. Ainsi, Madagascar bénéficierait d'une gamme de caféiers de qualité qui pourraient être cultivés dans l'ensemble de ses régions.

Références bibliographiques

Andrianasolo D. N., 2012
Génétique des populations et modèles d'architecture et de production végétale. Application à la préservation des ressources génétiques des Mascarocoffea. Thèse de doctorat, université de Montpellier II, 208 p.

Andiamparany M. M., 2014
*Étude architecturale d'*Adansonia grandidieri *Baillon dans la région du Menabe*. Mémoire de DEA en Biologie et Écologie végétale, faculté des Sciences d'Antananarivo, 99 p.

Barthélémy D., Edelin C., Hallé F., 1989
« Architectural concepts for tropical trees ». *In* Holm Nielsen L. B., Balslev H. (eds) : *Tropical forests: botanical dynamics, speciation and diversity*, Academic Press, London : 89-100.

Bridson D., Verdcourt B., 1988
« Coffea ». *In* Polhi U K. M. (ed.) : *Flora of tropical East Africa. Rubiaceae (Part 2),* AA Balkema, Rotterdam : 703-727.

Charles-Dominique T., 2011
Analyse des relations entre plasticité architecturale des buissons et prolifération de leurs populations. Thèse de doctorat, université de Montpellier II, 140 p.

Davis A. P., 2010
Six species of *Psilanthus* transferred to *Coffea* (Coffeeae, Rubiaceae). *Phytotaxa*, 10 : 41-45.

Davis A. P., 2011
Psilanthus mannii, the type species of *Psilanthus*, transferred to *Coffea*. *Nordic Journal of Botany*, 29 : 471-472.

Davis A. P., Govaerts R., Bridson D. M., Stoffelen P., 2006
An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 152 : 465-512.

Davis A. P., Rakotonasolo F., 2008
A taxonomic revision of the *Baracoffea* alliance: nine remarkable *Coffea* species from western Madagascar. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 158 : 355-390.

Davis A. P., Tosh J., Ruch N., Fay M., 2011
Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. *Botanical. Journal of the Linnean Society*, 167 : 357-377.

Davis A. P., Gole T. W., Baena S., Moat J., 2012
The impact of climate change on indigenous arabica coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. *Plos One*, 7 (11) : 1-13.

Edelin C., 1981
Quelques aspects de l'architecture végétative des conifères. *Bulletin de la Société botanique de France. Lettre botanique*, 128 (3) : 117-188. DOI : 10.1080/01811797.1981.10824502.

Enev, 2017
*Le café (*Coffea canephora *et* C. arabica*). Atelier national Antananarivo, 20 juil. 2017.* Examen national de l'export vert de Madagascar, 26 p.

FAO, 2005
L'irrigation en Afrique en chiffres. Enquête Aquastat 2005. *FAO Rapports sur l'eau*, 29, 652 p.

Hallé F., Oldeman R. A. A., 1970
Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Masson, Paris, 178 p.

Hallé F., Oldeman R. A. A., Tomlinson P. B., 1978
Tropical trees and forests. An architectural analysis. Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag, 441 p.

Heck L., Crowley B., Thorén S., Radespiel U., 2016
« Determinants of isotopic variation in two sympatric mouse lemur species from northwestern Madagascar ». *In* Lehman S., Radespiel U., Zimmermann E. (eds) : *The dwarf and mouse lemurs of Madagascar: biology, behavior and conservation biogeography of the Cheirogaleidae,* Cambridge Studies in Biological and Evolutionary Anthropology, Cambridge University Press : 281-304. DOI : 10.1017/CBO9781139871822.015

Heuret P., Barthélémy D., Guédon Y., Coulmier X., Tancre J., 2002
Synchronisation of growth, branching and flowering processes on an individual and stand level in the South American tropical tree *Cecropia obtusa* Trécul (Cecropiaceae). *American Journal of Botany*, 89 (7) : 1180-1187.

Jeannoda-Robinson V., 1977
Contribution à l'étude de l'architecture des herbes. Thèse de doctorat, université de Montpellier, 170 p.

Leroy J. F., 1996
Quelques grands faits relatifs à la flore angiospermienne malgache. Biogéographie de Madagascar : 59-71.

Oldeman R. A. A., 1974
L'architecture de la forêt guyanaise. Thèse de doctorat en Sciences naturelles, université de Montpellier II, 212 p.

Razafinarivo J., Hamon P., Sabatier S. A., 2013
Genetic structure and diversity of coffee (*Coffea*) across Africa and the Indian Ocean islands revealed using microsatellites. *Annals of Botany*, 111 : 229-248. DOI : 10.1093/aob/mcs283.

SalvaTerra, UCL, 2017
Analyse des moteurs de déforestation et de dégradation dans les écorégions des forêts humides de l'Est et des forêts sèches de l'Ouest de Madagascar. Livrable 4, rapport de synthèse. SalvaTerra, France/Université catholique de Louvain, 43 p.

Thompson D., 1992
On growth and form. Cambridge, Cambridge University Press. DOI : 10.1017/CBO9781107325852

Tourn G. M., Tortosa R. D., Medan D., 1992
Rhamnaceae with multiple lateral buds: an architectural analysis. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 108 (3) : 275-286.

Champignons forestiers

Chapitre 16

Champignons sauvages comestibles et savoirs traditionnels du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire

Mireille Stéphanie Pitta Badjo
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Gouvé Claver Yian
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Marie-Solange Tiébré
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Introduction

Les champignons sauvages comestibles sont des produits forestiers non ligneux qui jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des populations rurales et contribuent à leur bien-être (Yian et Tiébré, 2018). En effet, ils sont des aliments de substitution aux protéines animales et sont aussi consommés pour leur valeur nutritionnelle et leur saveur inégalée (Zoho Bi *et al*., 2016). Selon De Kesel *et al*. (2017), la faible valeur énergétique des champignons fait d'eux un aliment particulièrement prisé des adeptes de régimes diététiques. Cette ressource, en plus d'être consommée, fait l'objet de commercialisation, constituant ainsi une source de revenus pour les populations (Härkönen *et al.*, 2015). En effet, dans certains pays d'Afrique comme le Burundi, la République démocratique du Congo et la Zambie, la commercialisation des champignons comestibles constitue une activité économique qui implique des milliers de femmes rurales (Koné *et al*., 2013). Les espèces du genre *Auricularia*, *Amanita*, *Cantharellus*, *Termitomyces* et *Schizophyllum* ont une grande valeur économique et un fort potentiel commercial (De Kesel *et al*., 2017). Les champignons sauvages comestibles sont également utilisés en pharmacopée traditionnelle (Kouagou *et al.*, 2016). Des espèces, telles que *Auricularia delicata*, *Pleurotus tuberregium*, *Psathyrella tuberculata* et *Schizophyllum commune*, sont utilisées dans le traitement de diverses pathologies comme la bilharziose, l'inflammation,

l'épilepsie, les furoncles, les hémorroïdes, l'hypertension et les tumeurs malignes (Yian *et al.*, 2020). Sur 300 espèces de champignons sauvages comestibles répertoriées en Afrique subsaharienne, plus d'une soixantaine ont des vertus utilitaires (Rammeloo et Walleyn, 1993 ; De Kesel *et al.*, 2002). Les études scientifiques ont ainsi démontré des savoirs traditionnels sur les champignons utiles qu'il convient de valoriser (Yian *et al.*, 2020). Ces connaissances, souvent liées aux usages, sont aujourd'hui menacées de disparition du fait de la déforestation accrue et de l'urbanisation (Eyi NDong, 2009). Tous ces facteurs ont suscité un intérêt grandissant de la communauté scientifique pour la valorisation des savoirs traditionnels sur les champignons comestibles (De Kesel *et al*., 2002 ; Eyi NDong, 2009 ; Boni et Yorou, 2015 ; Kouagou *et al.*, 2016 ; Soro *et al.*, 2019 ; Yian *et al.*, 2020).

En Côte d'Ivoire, ces dernières années, les études sur les champignons sauvages comestibles ont connu une avancée notable (Yian et Tiébré, 2018 ; Soro *et al*., 2019). Ces études ont démontré que les communautés rurales utilisent de diverses manières les champignons et que les connaissances mycologiques varient d'une localité à une autre (Yian *et al.*, 2020). Toutefois, l'évaluation des connaissances endogènes reste fragmentaire et circonscrite aux régions Nord-Est, Centre et Sud (Pitta *et al*., 2020). La région Sud-Ouest a fait l'objet de peu d'études mycologiques (Soro *et al*., 2019). Fort de ce constat, il est apparu judicieux d'initier des travaux sur les champignons sauvages comestibles et les savoirs traditionnels de cette région de la Côte d'Ivoire qui abrite le parc national de Taï (Coulibaly, 2018) susceptible de renfermer de nombreuses espèces de champignons. La présente étude s'est fixée pour objectif général de contribuer à une meilleure connaissance des savoirs traditionnels sur les champignons sauvages comestibles du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. De façon spécifique, il s'est agi de (1) recenser les champignons utiles aux populations, afin d'en mesurer la diversité, et (2) d'identifier les usages qu'en font les communautés. L'hypothèse émise est que, dans la région Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, les champignons sont utilisés de façon diversifiée par les communautés rurales.

Matériels et méthodes

Site de l'étude

L'étude a été menée dans la région Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire, précisément dans la localité de Soubré (fig. 1), entre les latitudes 5°19 et 6°34 Nord et les longitudes 7°08 et 6°12 Ouest. Cette localité couvre une superficie d'environ 8 500 km^2 et abrite une population de 464 554 habitants (RGPH, 2014). La végétation originelle est une forêt dense humide sempervirente à *Eremosphata macrocarpa* Mann & H. Wendl et *Diospyros mannii* Hiern (Guillaumet et Adjanohoun, 1971). Aujourd'hui, cette végétation subit une forte régression du fait d'une pression anthropique croissante (Yian et Tiébré, 2018) induisant

une fragmentation des forêts denses en îlots de forêts, jachères et exploitations agricoles. La population autochtone de cette localité est constituée majoritairement de Bakwé, qui occupent le sud, de Bété localisés au centre et à l'est, et des Kouzié au nord (Martinet, 1975). On y rencontre également une forte communauté allochtone et allogène constituée principalement de Baoulé et de Burkinabé.

Figure 1
Carte de la zone d'étude montrant les différents villages enquêtés dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Collecte des données

Pour la réalisation de l'enquête ethnomycologique, le choix des localités et des enquêtés a été basé sur l'importance des groupes ethniques (en termes de nombre d'individus) présents dans la zone d'étude. Ainsi, trois groupes sociolinguistigues, ou ethniques, ont été identifiés. Il s'agit des Bété, des Bakwé et des Baoulé. En vue de réaliser un échantillonnage représentatif, deux villages ont été retenus par groupe sociolinguistique, soit un total de six villages. Il s'agit des villages de Sayo et Badayo pour les Bété, de Zadikro et de Kouamékro pour les Baoulé, de Kpéhiri et de Gnamandji pour les Bakwé (fig. 1). Un échantillon de 147 personnes, composé de 71 hommes et de 76 femmes, a été interrogé, 50 personnes respectivement chez les Bété et les Bakwé et 47 chez les Baoulé. L'âge des enquêtés était compris entre 16 et 80 ans. Les enquêtes ont été menées

individuellement à l'aide d'un questionnaire semi-structuré (De Kesel *et al.*, 2002), qui reprenait le profil de l'enquêté (l'âge, le sexe, l'ethnie, le niveau d'instruction), le nom vernaculaire des espèces de champignons et leurs usages. Un catalogue de 38 champignons comestibles de la zone forestière de Côte d'Ivoire, recensés par Yian et Tiébré (2018), a été présenté aux enquêtés afin de les aider à identifier et à attribuer un nom vernaculaire.

Pour évaluer les usages des groupes ethniques, la méthode adoptée par Kouagou *et al.* (2016) a été utilisée. Lors des enquêtes, il a été demandé à chaque enquêté d'attribuer des scores en fonction du degré d'utilisation des espèces. Ces scores ont été utilisés pour calculer les valeurs d'usage par catégorie et par groupe ethnique. Les scores 3, 2 et 1 correspondent respectivement à une espèce fortement, moyennement et faiblement utilisée par l'enquêté. Le score 0 correspond à une espèce non utilisée.

Analyse des données

Les données d'enquête ont été saisies à l'aide du logiciel Excel, afin de dresser la liste des espèces utiles. Cette dernière a été ensuite confrontée aux données issues de la littérature pour confirmer la comestibilité des espèces concernées (Yian *et al.*, 2020). Cette liste a également servi à calculer la fréquence de citation des espèces, les valeurs d'usage, les indices de diversité et d'équitabilité, ainsi que le test de similarité de Sorensen.

Fréquence de citation

La fréquence de citation a été déterminée pour identifier les espèces les plus utilisées par les enquêtés. La fréquence de citation (F) d'une espèce correspond au rapport entre le nombre d'enquêtés (n) ayant cité l'espèce et le nombre total d'enquêtés (N) (Badjaré *et al.*, 2018) :

$$F = \frac{n \times 100}{N}$$

Valeur d'usage ethnomycologique

La valeur d'usage d'une espèce donnée k (VU(k)) a été déterminée pour identifier de façon significative les espèces ayant une grande valeur d'utilisation au sein des différents groupes ethniques de la zone d'étude. Cette formule a été utilisée par Philips et Gentry (1993) et Camou-Guerrero *et al.* (2008). Elle permet de déterminer la catégorie d'usage ayant la plus grande valeur d'utilisation. Les catégories d'usage identifiées dans la présente étude sont : alimentaire (VUA), médicinale (VUM) et commerciale (VUC). Pour chaque espèce, la valeur d'usage moyenne pour la catégorie considérée dans cette étude, en tenant compte des scores attribués par les enquêtés, varie de 0 (minimum) à 3 (maximum) (Dossou *et al.*, 2012). La valeur d'usage moyenne a été calculée à partir de la formule mathématique suivante :

$$\mathrm{VU}_{(k)} = \frac{\sum_i^n Si}{N}$$

où $VU_{(k)}$ est la valeur d'usage ethnomycologique de l'espèce *k* au sein d'une catégorie d'usage donnée, *Si* le score d'utilisation attribué par le répondant *i* et *N* le nombre de répondants pour une catégorie d'usage donnée.

Valeur d'usage totale

La valeur d'usage totale de l'espèce *k* dans chaque groupe sociolinguistique a été calculée en faisant la somme des valeurs d'usage de l'espèce au sein des différentes catégories d'usage dans le groupe ethnique concerné. Elle a été calculée pour identifier les espèces de champignons ayant la plus forte valeur d'utilisation. La valeur d'usage moyenne totale pour la catégorie considérée dans cette étude, en tenant compte des scores attribués par les enquêtés, varie de 0 (minimum) à 9 (maximum) (Dossou *et al*., 2012). La formule mathématique est la suivante :

$$VU_{(T)} = \sum_{1}^{p} VU_{(k)}$$

où $VU_{(T)}$ représente la valeur d'usage totale de l'espèce, *VU* la valeur d'usage de l'espèce pour une catégorie d'usage donnée et *p* le nombre de catégories d'usage.

Indice de diversité spécifique de l'enquêté

L'indice de diversité (ID) a été calculé pour traduire le degré d'homogénéité des connaissances entre les groupes sociolinguistiques et comparer le niveau de connaissance et le savoir traditionnel (Byg et Balslev, 2001). Cet indice mesure le nombre d'enquêtés qui utilisent une espèce donnée et la façon dont cette connaissance est répartie entre les enquêtés. Sa valeur varie entre 0 et le nombre d'enquêtés utilisant l'espèce (IDmax).

Quand ID tend vers 0, la diversité est très faible, et il existe une homogénéité relative des connaissances sur les espèces de champignons au sein des enquêtés. Lorsqu'il tend vers n (ID max), la diversité est élevée, et les connaissances sur les champignons ne sont pas homogènes au sein des enquêtés.

$$\mathrm{ID} = \frac{1}{\sum pi}$$

où p_i est le nombre d'usages cités par l'enquêté '*e*' pour une espèce donnée, divisé par le total d'usages cités pour l'espèce (considérant tous les enquêtés).

Indice d'équitabilité de l'enquêté

L'indice d'équitabilité (IE) a été calculé pour mesurer le degré d'homogénéité des connaissances des enquêtés (Byg et Balslev, 2001). Cette valeur traduit le degré d'homogénéité des connaissances entre les groupes sociolinguistiques. C'est la valeur de l'indice de diversité (ID) divisée par la valeur maximale de l'indice de diversité (ID max). Il est compris entre 0 et 1.

Lorsque IE tend vers 0, les connaissances mycologiques sont détenues par un petit nombre d'enquêtés. Lorsqu'il tend vers 1, les connaissances mycologiques sont détenues par un grand nombre d'enquêtés.

$$\mathrm{IE} = \frac{ID}{ID\max}$$

Le test de similarité de Sorensen

Le test de similarité de Sorensen (K) a été utilisé pour vérifier si les groupes ethniques pris deux à deux exploitent les mêmes espèces de champignons. Il est déterminé à travers la formule mathématique suivante :

$$\mathrm{K} = \frac{100 \times 2a}{(2a + b + c)}$$

où *a* correspond aux espèces utilisées par les deux groupes ethniques, *c* espèces utilisées par le groupe 1 et *b* par le groupe 2.

Si K est supérieur à 50 %, alors les deux groupes exploitent les mêmes espèces de champignons.

Résultats

Diversité des champignons comestibles

Dans cette étude, 35 espèces de champignons comestibles ont été citées. Ces champignons sont repartis entre 24 genres et 14 familles (tabl. 1). Les noms vernaculaires donnés aux champignons diffèrent d'un groupe ethnique à un autre. Chez les Bété, le nom attribué à l'ensemble des champignons est « *woh* », « *wohou* » en bakwé et « *n'dré* » en baoulé. Sur l'ensemble des espèces répertoriées, les Bété attribuent au moins un nom local à 25 espèces contre un nom local à 24 espèces chez les Baoulé. En ce qui concerne les Bakwé, au moins un nom local est attribué à neuf espèces.

Les espèces les plus citées sont *Volvariella volvacea* (23,95 %) et *Psathyrella tuberculata* (22,40 %). Ensuite, viennent les espèces telles que *Termitomyces meduis* (8,09 %), *Termitomyces letestui* (7,78 %) et *Lentinus squarrosulus* (7,31 %) (fig. 2 et 3). Les espèces telles que *Coprinus* sp., *Termitomyces schimperi* et *Auricularia cornea* ont une fréquence de citation de 5 %. Les espèces dont la fréquence de citation est comprise entre 3 et 1 % sont *Marasmiellus inoderma* (2,64 %), *Lepiota* sp. (2,2 %), *Psathyrella* sp. (1,56 %), *Termitomyces microcarpus* (1,40 %), *Termitomyces* sp. (1,40 %), *Macrolepiota dolichaula* (1,09 %) et *Pleurotus tuberregium* (1,09 %). Enfin, les vingt espèces les moins citées ont des fréquences inférieures à 0,5 %.

Tableau 1
Les espèces de champignons comestibles recensées et leurs noms vernaculaires, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

N°	Espèces	Familles	Noms bétés	Noms bakwés	Noms baoulés	Références bibliographiques
1	*Agaricus* sp. L.	Agaricaceae	-	-	-	Kouassi (2012) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018)
2	*Agrocybe elegantior* Watling	Strophariaceae	-	-	*Duiti*	Yian et Tiébré (2018)
3	*Auricularia cornea* Ehrenb.	Auriculariaceae	*Youclitrata*	-	*Cocotissankpo/ Bokessou*	Ebika *et al.* (2018) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Yian et Tiébré (2018)
4	*Chlorophyllum* cf. *molybdites* (G. Mey.) Massee	Agaricaceae	-	-	*Di n'ti*	Boni et Yorou (2015) ; Fadeyi *et al.* (2017) ; Kouassi *et al.* (2007) ; Locquiun (1954) ; Yian et Tiébré (2018)
5	*Collybia aurea* (Beeli) Pegler	Tricholomataceae	-	*Fofrowohou*	-	Yian et Tiébré (2018)
6	*Coprinus africanus* Pegler	Coprinaceae	*Lèglèlelou*	-	*N'gonizon*	Kouassi *et al.* (2007) ; Yian et Tiébré (2018)
7	*Coprinus* sp.	Coprinaceae	*Lolié*	*Segredorou*	*Akodré*	Kouagou *et al.* (2016) ; Yian et Tiébré (2018)
8	*Gymnopilus zenkeri* (Henn) Singer	Strophariaceae	*Kpatrozorô/ Dabadjrè*	-	-	Ebika *et al.* (2018) ; Eyi NDong (2009) ; Thiombiano et Kampmann (2010) ; Yian et Tiébré (2018)
9	*Hohenbuehelia aurantiocystis* Pegler	Pleurotaceae	*Pkatra*	-	-	Yian et Tiébré (2018)
10	*Lentinus squarrosolus* Mont.	Polyporaceae	*Gomé/Wregbao/ Gbalapeu/Koutin*	*Sapognakou*	*Independance/ Okessou*	Boni et Yorou (2015) ; Ebika *et al.* (2018) ; Eyi NDong (2009) ; Fadeyi *et al.* (2017) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Codjia et Yorou (2014) ; Kouassi (2012) ; Soro *et al.* (2019) ; Thiombiano et Kampmann (2010) ; Yian et Tiébré (2018) ; Yorou et De Kesel (2001)
11	*Lepiota* sp. (Pers.) Gray	Agaricaceae	*Lolia*	-	*Gloglo*	Kouassi, (2012) ; Yian et Tiébré (2018)
12	*Leucoagaricus carminescens* Heinem.	Agaricaceae	*Trougbolié*	-	-	Yian (2018)

[…]

[…]

N°	Espèces	Familles	Noms bétés	Noms bakwés	Noms baoulés	Références bibliographiques
13	*Leucoagaricus* cf. *americanus* (Peck) Vellinga	Agaricaceae	*Blayèrè*	-	*Sourema/Boyéfè akoia*	Kouassi (2012) ; Yian et Tiébré (2018)
14	*Leucocoprinus cretatus* (Bill.) Locq	Agaricaceae	*Blayèré*	-	*Akouatika n'dré*	Kouassi (2012) ; Yian et Tiébré (2018)
15	*Leucocoprinus* sp.	Agaricaceae	-	-	-	
16	*Macrolepiota dolicha* (Berk. & Broome) Pegler & R. W. Rayner	Agaricaceae	*Noplipli/ Troglé popa/Gana*	-	*Klèdrin*	Yian et Tiébré (2018)
17	*Marasmiellus inoderma* (Berk.) Singer	Marasmiaceae	*Yèyè/Gardjia*	-	*Gba/Patrapari*	Kouassi (2012) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018)
18	*Marasmius* sp.	Marasmiaceae	-	*Katehowou*	-	Codjia et Yorou (2014)
19	*Pleurotus flabellatus* (Berk. & Br.) Sacc.	Pleurotaceae	*Kpatra*	-	*Oké soupkô*	Eyi NDong (2009) ; Yian et Tiébré (2018)
20	*Pleurotus tuberregium* (Fr.) Fr.	Pleurotaceae	*Boutroua*	-	-	Boni et Yorou (2015) ; Ebika *et al.* (2018) ; Eyi NDong (2009) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018)
21	*Pluteus* cf. *congolensis* Beeli	Plutaceae	-	-	*Alopko*	Kouassi (2012) ; Yian et Tiébré (2018)
22	*Pluteus* sp.	Plutaceae	-	-	-	Kouagou *et al.* (2016) ; Yian (2018)
23	*Polyporus tenuiculus* (P. Beauv.) Fr.	Polyporaceae	*Grègrè*	-	*Ako n'dré*	Ebika *et al.* (2018) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Yian (2018)
24	*Psathyrella atroumbonata* Pegler	Psathyrellaceae	*Kpatro*	-	*N'dréblé*	Kouassi (2012) ; Yian et Tiébré (2018)
25	*Psathyrella* sp.	Psathyrellaceae	*Kpatro*	*Kpatro*	*N'dréblé*	Soro *et al.* (2019) ; Yian (2018)
26	*Psathyrella tuberculata* (Path.) A. H. Smith	Psathyrellaceae	*Kpatro*	*Kpatro*	*N'dréblé/ N'dréwa*	Boni et Yorou (2015) ; Fadeyi *et al.* (2017) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Kouassi (2012) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018) ; Yorou et De Kesel (2001)

N°	Espèces	Familles	Noms bétés	Noms bakwés	Noms baoulés	Références bibliographiques
27	*Schizophyllum commune* Fr.	Schizophyllaceae	*Koitè*	-	*Gblongblon*	Ebika *et al.* (2018) ; Eyi NDong (2009) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018)
28	*Termitomyces letestui* (Pat.) R. Heim	Lyophyllaceae	*Biligopieu*	*Founonon*	*N'glo*	Boni et Yorou (2015) ; Codjia et Yorou (2014) ; Fadeyi *et al.* (2017) ; Heim (1936) ; Koné *et al.* (2013) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Kouassi (2012) ; Rammeloo et Walleyn (1994) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018) ; Yorou et De Kesel (2001)
29	*Termitomyces medius* R. Heim & Grassé	Lyophyllaceae	*Glaglè*	-	*Nandroh*	Boni et Yorou (2015) ; Ducousso *et al.* (2003) ; Fadeyi *et al.* (2017) ; Koné *et al.* (2013) ; Kouassi (2012) ; Soro *et al.* (2019) ; Thiombiano et Kampmann (2010) ; Yian et Tiébré (2018)
30	*Termitomyces microcarpus* (Berk. & Broome) R. Heim	Lyophyllaceae	*Zohré*	*yéyé*	*Wonisien n'dré*	Eyi NDong (2009) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Kouassi (2012) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018)
31	*Termitomyces schimperi* (Pat.) R. Heim	Lyophyllaceae	*Dradra*	-	*Welen' gbli n'dré/ Famien n'glo*	Boni et Yorou (2015) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Soro *et al.* (2019) ; Thiombiano et Kampmann (2010) ; Yian et Tiébré (2018) ; Yorou et De Kesel (2001)
32	*Termitomyces* sp.	Dradra/Trogbellié	-	-	*Gbrongbron*	Soro *et al.* (2019)
33	*Trogia infundibuliformis* Berk. & Broome	Marasmiaceae				Eyi NDong (2009) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Yian (2018)
34	*Volvariella volvacea* (Bull.) Singer	Plutaceae	*Yagbouah/Bôlor*	*Wataou/Bôlor*	*Boyéfè*	Ebika *et al.* (2018) ; Eyi NDong (2009) ; Codjia et Yorou (2014) ; Kouagou *et al.* (2016) ; Soro *et al.* (2019) ; Thiombiano et Kampmann (2010) ; Yian et Tiébré (2018) ; Yorou et De Kesel (2001)
35	*Volvopluteus earlei* (Murrill) Vizzini	Plutaceae	*Loolia*	-	-	Boni et Yorou (2015) ; Kouassi (2012) ; Soro *et al.* (2019) ; Yian et Tiébré (2018) ; Yorou et De Kesel (2001)

Figure 2

Quelques espèces de champignons comestibles du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

A : *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer S. I. B : *Psathyrella atrombonata* (Pat.) Smith. C : *Termitomyces medius* (pat.) Hein R. & Grassé *in* Grassé & Hien. D : *Auricularia auricula judae* Sensu Cranwell. E : *Coprinus africanus* Pegler. F : *Gymnopilus zinkeri* (Henn.) Singer. G : *Marasmiellus inoderma* (Berk.) Singer. H : *Lentinus squarrosulus* (Mont.) Singer.

Figure 3

Histogramme des fréquences de citation des champignons comestibles du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

V_vol : *Volvariella volvacea*. Psat_tub : *Psathyrella tuberculata*. T_med : *Termitomyces medius*. T_letes : *Termitomyces letestui*. L_squar : *Lentinus squarrosolus*. C_sp : *Coprinus* sp. T_schimp : *Termitomyces schimperi*. Aur_cor : *Auricularia cornea*. M_inod : *Marasmiellus inoderma*. Lep sp : *Lepiota* sp. P_sp : *Psathyrella* sp. T_micro : *Termitomyces microcarpus*. T_sp : *Termitomyces* sp. M_dol : *Macrolepiota dolichaula*. P_tuberreg : *Pleurotus tuberregium*. P_flab : *Pleurotus flabellatus*. C_aurea : *Collybia aurea*. P_cong : *Pluteus congolensis*. P_ten : *Polyporus teniuculus*. L_am : *Leucoagaricus americanus*. C_afric : *Coprinus africanus*. Plu_sp : *Pluteus* sp. Psat_atrom : *Psathyrella atrombonata*. Agar_sp : *Agaricus* sp. Chl_molyb : *Chlorophylum molybdites*. Gym_zenk : *Gymnopilus zenkeri*. L_carm : *Leucoagaricus carminescens*. Leuco_sp : *Leucoprinus* sp. Sch_com : *Schizophyllum commune*. T_infund : *Trogia infundibuliformis*. Agro_eleg : *Agrocybe elegantior*. Hobuel_aur : *Hohenbuehelia* cf. *aurantiocytis*. L_cret : *Leucocoprinus cretatus*. Marasm_sp. : *Marasmius* sp. V_earlei : *Volvopluteus earlei*.

Usages et valeurs d'usage des champignons comestibles

Les populations locales définissent globalement trois usages, à savoir les usages alimentaires, médicinaux et commerciaux (tabl. 2). Les Bété identifient 27 espèces à usage alimentaire, trois à usage médicinal et une à usage commercial. Chez les Bakwé, ce sont 24 espèces alimentaires, trois médicinales et une espèce commerciale qui sont citées. En ce qui concerne les Baoulé, 26 espèces alimentaires, deux médicinales et une commerciale sont répertoriées (tabl. 2). La plupart des espèces citées par les groupes ethniques présentent des valeurs d'usage alimentaire élevées. Les espèces ayant les valeurs d'usages les plus élevées (tous usages et tous groupes ethniques confondus) sont *Volvariella volvacea* et *Psathyrella tuberculata*. *V. volvacea* présente les valeurs d'usage totales de 5,28 chez les Bété, 5,02 chez les Bakwé et 5,53 chez les Baoulé. Quant à *P. tuberculata*, les valeurs d'usage totales sont respectivement de 2,38 chez les Bété, 1,8 pour les Bakwé et 2,55 chez les Baoulé. *V. volvacea* est utilisée dans les trois catégories d'usage contrairement à *P. tuberculata,* dont l'usage commercial n'a pas été mentionné.

Concernant la valeur d'usage médicinal, seules cinq espèces sont mentionnées par l'ensemble des trois groupes ethniques. Il s'agit de *Collybia aurea*, *Pleurotus tuberregium*, *Psathyrella tuberculata*, *Termitomyces schimperi* et *Volvariella volvacea.* Parmi ces espèces, trois ont une valeur d'usage médicinal chez les Bété : *Pleurotus tuberregium* (0,18), *Psathyrella tuberculata* (0,24) et *Termitomyces schimperi* (0,06). Chez les Bakwés, les espèces présentant des valeurs d'usage médicinal sont *Collybia aurea* (0,06), *Psathyrella tuberculata* (0,06) et *Volvariella volvacea* (0,06). Chez les Baoulé, deux espèces ont des valeurs d'usage médicinal. Il s'agit de *Psathyrella tuberculata* (0,32) et *Volvariella volvacea* (0,06). Il ressort que la valeur d'usage médicinal calculée pour l'ensemble des espèces est inférieure à 1. *Psathyrella tuberculata* est la seule espèce utilisée par les trois groupes ethniques pour se soigner. Les espèces avec des valeurs d'usage non mentionnées, ne sont pas utilisées par les groupes ethniques.

Les indices de diversité sont très faibles au sein des groupes sociolinguistiques, avec la grande majorité inférieure à la moitié de la valeur maximale de l'indice de diversité (tabl. 3). Les connaissances mycologiques sont donc homogènes au sein des enquêtés. Chez les trois groupes sociolinguistiques, les indices d'équitabilité sont inférieurs à 0,5, ce qui montre la faible répartition des connaissances mycologiques au sein des enquêtés : seul un petit nombre d'entre eux les détient. Les résultats du test de Sorensen montrent des valeurs inférieures à 50 % et indiquent que les groupes sociolinguistiques utilisent différemment les champignons (tabl. 4)

Tableau 2
Valeurs d'usage des champignons comestibles du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Espèces	Valeurs d'usage											
	Groupe des Bété				Groupe des Bakwé				Groupe des Baoulé			
	VUA	VUC	VUM	VUT	VUA	VUC	VUM	VUT	VUA	VUC	VUM	VUT
Auricularia cornea	0,24			0,24	0,30			0,30	0,04			0,04
Agaricus sp.					0,06			0,06	0,04			0,04
Agrocybe elegantior									0.04			0.04
Coprinus africanus	0,04			0,04	0,12			0,12				
Collybia aurea	0,04			0,04	0,18		**0,06**	0,24				
Coprinus sp.	0,44			0,44	0,16			0,16	0,49			0,49
Chlorophylum molybdites					0,04			0,04	0,02			0,02
Gymnopilus zenkeri	0,02			0,02					0,04			0,04
Hohenbuehelia cf. *aurantiocytis*	0,04			0,04								
Leucoagaricus americanus	0,04			0,04					0,06			0,06
Leucoagaricus carminescens									0,06			0,06
Leucocoprinus cretatus					0,02			0,02				
Lentinus squarrosulus	0,44			0,44	0,44			0,44	0,64			0,64
Lepiota sp.	0,14			0,14					0,21			0,21
Leucoprinus sp.	0,08			0,08								
Macrolepiota dolichaula	0,08			0,08	0,12			0,12	0,04			0,04
Marasmiellus inoderma	0,38			0,38	0,12			0,12	0,02			0,02

Espèces	Valeurs d'usage											
	Groupe des Bété				Groupe des Bakwé				Groupe des Baoulé			
	VUA	VUC	VUM	VUT	VUA	VUC	VUM	VUT	VUA	VUC	VUM	VUT
Marsmius sp.									0,02			0,02
Pluteus congolensis	0,08			0,08	0,02			0,02	0,02			0,02
Pleurotus flabellatus	0,10			0,10	0,04			0,04	0,06			0,06
Pleurotus tuberregium	0,24		**0,18**	0,42								
Pluteus sp.	0,06			0,06	0,02			0,02	0,02			0,02
Polyporus teniuculus	0,06			0,06					0,04			0,04
Psathyrella tuberculata	2,14		**0,24**	2,38	1,74		**0,06**	1,80	2,23		0,32	2,55
Psathyrella atrombonata					0,02			0,02	0,04			0,04
Psathyrella sp.	0,04			0,04	0,24			0,24	0,09			0,09
Schizophyllum commune					0,02			0,02	0,02			0,02
Trogia infundibuliformis	0,02			0,02								
Termitomyces letestui	0,40			0,40	0,18			0,18	0,66			0,66
Termitomyces medius	0,70			0,70	0,38			0,38	0,38			0,38
Termitomyces microcarpus	0,14			0,14	0,02			0,02	0,04			0,04
Termitomyces schimperi	0,34		**0,06**	0,40	0,10			0,10	0,34			0,34
Termitomyces sp.	0,06			0,06	0,04			0,04				
Volvariella volvacea	2,70	2,58		5,28	2,38	2,58	**0,06**	5,02	2,79	2,68	0,06	5,53
Volvopluteus earlei	0,06			0,06								

VUA : valeur d'usage alimentaire, VUM : valeur d'usage médicinal, VUC : valeur d'usage commercial, VUT : valeur d'usage totale.

Tableau 3
Indices de diversité et d'équitabilité des usagers des champignons comestibles du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Espèces	Groupe des Bété				Groupe des Bakwé				Groupe des Baoulé			
	Σ*pi*		ID max	IE	Σ*pi*		ID max	IE	Σ*pi*		ID max	IE
Auricularia cornea	8	0,125	8	0,015	6	0,1667	6	0,0283	3	0,3333	3	0,11
Agaricus sp.					1	1	1	1	1	1	1	1
Agrocybe elegantior									1	1	1	1
Coprinus africanus	1	1	1	1	2	1	2	0,25				
Collybia aurea	1	1	1	1	2	0,5	3	0,1667				
Coprinus sp.	10	0,1	10	0,01	4	0,25	4	0,0625	11	0,0909	11	0,0082
Chlorophyllum molybdene					1	1	1	1	1	1	1	1
Gymnopilus zenkeri	1	1	1	1					1	1	1	1
Hohenbuehelia cf. *aurantiocytis*	1	1	1	1								
Leucoagaricus cf. *americanus*	1	1	1	1					3	0,3333	3	0,11
Leucoagaricus carminescens									1	1	1	1
Leucocoprinus cretatus					1	1	1	1				
Lentinus squarrosulus	10	0,1	12	0,0067	10	0,1	10	0,01	21	0,0476	21	0,0024
Lepiota sp.	5	0,2	5	0,04					6	0,1667	6	0,0283
Leucoprinus sp.	2	0,5	2	0,25								
Macrolepiota dolichaula	2	0,5	2	0,25	3	0,3333	3	0,11	2	0,5	2	0,25
Marasmiellus inoderma	13	0,0769	13	0,0061	4	0,25	4	0,0625	1	1	1	1
Marsmius sp.									1	1	1	1

Espèces	Groupe des Bété				Groupe des Bakwé				Groupe des Baoulé			
	Σ*pi*		ID max	IE	Σ*pi*		ID max	IE	Σ*pi*		ID max	IE
Pluteus congolensis	2	0,5	2	0,25	1	1	1	1	1	1	1	1
Pleurotus flabellatus	2	0,5	2	0,25	1	1	1	1	2	0,5	2	0,25
Pleurotus tuberregium	4,5	0,2222	6	0,0370								
Pluteus sp.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Polyporus teniuculus	4	0,25	4	0,0625					1	1	1	1
Psathyrella tuberculata	22	0,0454	40	0,0011			34	0,0018	23	0,0435	42	0,0009
Psathyrella atrombonata					1	1	1	1	2	0,5	2	0,25
Psathyrella sp.	1	1	1	1	6	0,1667	6	0,0283	2	0,5	2	0,25
Schizophyllum commune					1	1	1	1	1	1	1	1
Trogia infundibuliformis	2	0,5	2	0,25								
Termitomyces letestui	16	0,0625	16	0,0037	6	0,1667	6	0,0283	18	0,0556	18	0,0278
Termitomyces medius	26	0,0385	26	0,0015	7	0,1428	7	0,02	10	0,1	10	0,01
Termitomyces microcarpus	5	0,2	5	0,04	3	0,3333	3	0,11	1	1	1	1
Termitomyces schimperi	4,5	0,2222	8	0,0275	4	0,25	4	0,0625	6	0,1667	10	0,017
Termitomyces sp.	2	0,5	2	0,25	3	0,3333	3	0,11				
Volvariella volvacea	48	0,0208	48	0,0004	30,48	0,0328	45	0,0007	13,87	0,0721	40	0,0018
Volvopluteus earlei	1	1	1	1								

Σ*pi* : somme du nombre d'usages cité par les enquêtés pour une espèce donnée.
ID : indice de diversité de l'enquêté.
ID max : indice de diversité maximale.
IE : indice d'équitabilité de l'enquêté.

Tableau 4
Résultats du test de similarité de Sorensen (K) entre les différents groupes sociolinguistiques du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

	Groupes ethniques analysés deux par deux		
	Les Bété et les Bakwé	**Les Bété et les Baoulé**	**Les Bakwé et les Baoulé**
Valeur de K (%)	K = 41,38	K = 42,70	K = 41,86
Nombre d'espèces citées par ethnie	a = 18 b = 27 (Bété) c = 24 (Bakwé)	a = 19 b = 27 (Bété) c = 26 (Baoulé)	a = 18 b = 24 (Bakwé) c = 26 (Baoulé)

a : espèces utilisées par les deux groupes ethniques, *c* : espèces utilisées par le groupe 1, *b* : espèces utilisées par le groupe 2.

Discussion

Diversité des champignons comestibles

La présente étude réalisée sur les champignons comestibles et les savoirs traditionnels de la région Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire montre que les champignons comestibles jouent un rôle important dans la vie des populations locales. Ces champignons sont utilisés à des fins alimentaires, médicinales et commerciales. Ces usages méritent d'être promus en vue de contribuer à la valorisation des champignons sauvages comestibles, espèces utiles pour contribuer à la sécurité alimentaire et lutter contre la pauvreté.

Cette étude révèle la présence de 35 espèces comestibles. Ce nombre est supérieur à celui de Soro *et al*. (2019) qui avaient répertorié 28 espèces utiles dans la région du parc national de Taï. Les résultats obtenus sont conformes à ceux des travaux de Boni et Yorou (2015) au Bénin, avec le même nombre d'espèces pour l'ensemble des groupes sociolinguistiques enquêtés (Bariba, Gondo et Yom). Néanmoins, ce nombre d'espèces de champignons comestibles est inférieur à ceux obtenus par Kouagou *et al*. (2016) en République démocratique du Congo (42 espèces), Madamo *et al*. (2017) en République centrafricaine (74 espèces) et Ebika *et al*. (2018) au Congo (51 espèces). Le nombre d'espèces de champignons comestibles signalé dans cette étude montre dans l'ensemble une diversité mycofloristique importante.

Dans cette étude, chaque groupe ethnique détient sa propre nomenclature des champignons. En effet, le champignon en Côte d'Ivoire est appelé « *N'dré* » chez les Baoulé, « *Woh* » chez les Bété et « *Wohou* » chez les Bakwé. Cette même observation a été faite par Guissou *et al.* (2008) au Burkina Faso, où les Mòoré nomment les champignons « *goundou* », les Bobo-Mandaré « *toutougué* » et les Djidoungou « *Gouindougouba* ». Au Bénin, les champignons sont connus sous le nom de « *Osusu* » chez les Nagot, « *Ikouan* » chez les Bètamaribè,

« *kakposé* » chez les Lokpa et « *Gambonoudi* » chez les Peul (Fadeyi *et al*. 2017). L'étude révèle également que la nomenclature des espèces fait généralement référence à l'aspect, la forme, l'écologie, aux noms d'animaux et au goût. Ce constat pourrait s'expliquer par le fait que ces populations détiennent les mêmes savoirs et techniques d'identification traditionnels des espèces de champignons. Ces résultats corroborent les travaux de Malaisse *et al.* (2008), Guissou *et al.* (2008), Kouagou *et al*. (2016) et Ebika *et al*. (2017), réalisés en Centrafrique, au Burkina Faso et au Congo. Les noms vernaculaires attribués au mot « champignon » diffèrent d'une ethnie à une autre et prennent en compte les aspects visuels et gustatifs des champignons.

L'analyse des résultats montre également que les Bété et les Baoulé identifient et attribuent plus de noms vernaculaires aux espèces que les Bakwé. En effet, ces populations vivant encore près des forêts, exploitent très souvent les ressources naturelles comme les champignons, justifiant ainsi leur bon niveau de connaissance. Ce constat confirme les travaux de De Kesel *et al*. (2002) et de Codjia et Yorou (2014) qui ont montré au Bénin que les populations vivant au contact des forêts connaissent mieux les champignons sauvages que les populations éloignées des forêts.

En ce qui concerne la fréquence de citation, *V. volvacea* et *P. tuberculata* sont les espèces les plus citées par les groupes ethniques, car elles sont les mieux connues et les plus consommées par ces groupes. Ce même constat a été fait également en Côte d'Ivoire par Zanh *et al*. (2016) dans la région du Haut Sassandra et par Yian (2018) dans les régions de l'Agnéby-Tiassa, du Gôh et du district d'Abidjan. Pour ces auteurs, *V. volvacea* et *P. tuberculata* doivent leur succès au bon goût qu'elles donnent à la sauce. Au Bénin, De Kesel *et al*. (2002) et Codjia et Yorou (2014) ont montré que ces deux espèces sont aussi les plus appréciées et sont utilisées pour remplacer la viande ou le poisson et pour assaisonner la sauce.

Usages et valeurs d'usage des champignons comestibles

L'analyse des usages montre que les populations de la zone d'étude utilisent les champignons sauvages pour assurer leur bien-être selon trois catégories d'usage Boni et Yorou (2015) et Kouagou *et al*. (2016) mentionnent les mêmes usages au Bénin et en République centrafricaine. Les populations rurales de Côte d'Ivoire et, plus largement, d'Afrique subsaharienne utilisent généralement les champignons sauvages pour les mêmes besoins. En revanche, nos résultats diffèrent de ceux de Soro *et al*. (2019) qui mentionnent quatre catégories d'usage, à savoir alimentaire, médicinal, magique et de loisir. Les usages magiques et de loisir, révélés par ces auteurs, s'expliquent par le fait qu'ils ont interrogé des tradipraticiens lors de leurs travaux.

L'étude révèle aussi que *Volvariella volvacea* a obtenu la plus forte valeur d'usage totale chez les trois groupes ethniques. Cette forte valeur s'explique par son importante utilisation dans les trois catégories d'usage considérées. Codjia et Yorou (2014) montrent que *V. volvacea* présente une valeur d'usage

totale élevée au Bénin où elle est utilisée par les Nagot, les Holli et les Fon pour les mêmes catégories d'usage. De même, Kouagou *et al.* (2016) retiennent *V. volvacea* comme l'une des espèces ayant la plus grande valeur d'usage alimentaire chez les peuples ngbaka, mbati et aka en République centrafricaine. Concernant *P. tuberculata*, une valeur d'usage médicinal élevée est obtenue pour tous les groupes ethniques. En effet, cette espèce est utilisée dans la pharmacopée traditionnelle par l'ensemble des groupes sociolinguistiques pour le traitement du paludisme, de la tension, de la toux, des maux de ventre, d'oreilles et des yeux. Nos résultats corroborent ceux de Yian *et al.* (2020) pour lesquels *P. tuberculata* est utilisée pour soigner les mêmes affections. Cette espèce est également signalée par Codjia et Yorou (2014) au Bénin et par Kouagou *et al*. (2016) en République centrafricaine dans le traitement de certaines affections comme l'épilepsie et la bilharziose. Elle est également utilisée comme antiparasitaire par les M'Bati en République centrafricaine.

L'analyse de l'indice de diversité montre que les connaissances mycologiques sont homogènes au sein des groupes ethniques enquêtés. Cette observation se justifie par le fait que les communautés utilisent pratiquement les mêmes ressources fongiques. Ces résultats rejoignent ceux des travaux de Codjia et Yorou (2014) et de Boni et Yorou (2015) réalisés au Bénin. En effet, ces auteurs ont montré que les faibles indices de diversité trouvés expliquent l'homogénéité des connaissances mycologiques au sein des groupes sociolinguistiques holli, Nagot, fon, bariba, gondo et yom. Les valeurs de diversité relativement faibles montrent également que les groupes sociolinguistiques interrogés n'utilisent pas toutes les espèces dans les trois catégories d'usage mentionnées. Ce même constat a été fait par Codjia et Yorou (2014) et Boni et Yorou (2015) dans leurs travaux. Les valeurs de l'indice d'équitabilité sont inférieures à 0,5 chez tous les groupes ethniques. Ces résultats s'expliquent par le fait que l'ensemble des connaissances mycologiques est détenu par un petit nombre d'enquêtés. Nos résultats corroborent ceux de Boni et Yorou (2015) qui ont montré que les connaissances mycologiques étaient détenues par un petit nombre d'enquêtés au sein des groupes bariba, gondo et yom.

Conclusion

Cette étude montre que la région du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire renferme une diversité de champignons utiles. Ces champignons sont diversement utilisés, et leurs noms vernaculaires varient d'un groupe sociolinguistique à un autre. *Volvariella volvacea* et *Psathyrella tuberculata* sont les espèces les plus appréciées des communautés. Les champignons sauvages comestibles sont principalement utilisés à des fins alimentaires. Les savoirs traditionnels sont quasiment similaires au sein des populations, mais détenus par un faible nombre

d'individus. Promouvoir ces espèces à travers leur mise en culture permettrait de mieux assurer la sécurité alimentaire et de lutter efficacement contre la pauvreté.

Remerciements

Nous remercions le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour le financement du projet AAP2-21 attribué au Pr Marie-Solange Tiébré. Nous remercions également le Programme d'appui stratégique à la recherche scientifique (Pasres) du Centre suisse de recherche scientifique pour le financement attribué à Mlle Mireille Stéphanie Pitta Badjo (projet PASRES n° 183). Nos remerciements vont également à l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique et, à travers lui, à l'Initiative pour la taxinomie globale (GTI) et au jardin botanique Meise de Belgique pour, respectivement, le soutien financier et la formation taxonomique du Dr Gouvé Claver Yian.

Références bibliographiques

Badjaré B., Kokou K., Bigou-laré N., Koumantiga D., Akpakouma A., Adjayi B., Abbey A. G., 2018
Étude ethnobotanique d'espèces ligneuses des savanes sèches au Nord-Togo : diversité, usages, importance et vulnérabilité. *Biotechnologie Agronomie Sociologie Environnement*, 22 (3) : 152-171.

Byg A., Baslev H., 2001
Diversity and use of palms in Zahamena, Eastern Madagascar. *Biodiversity and Conservation*, 10 : 951-970.

Boni S., Yorou S. N., 2015
Diversité et variabilité interethniques dans la consommation de champignons sauvages de la région de N'Dali au Bénin. *Tropicultura*, 33 (4) : 266-276.

Camou-Guerrero A., Reyes-García V., Martínez-Ramos M., Casas A., 2008
Knowledge and use value of plant species in a Rarámuri community: a gender perspective for conservation. *Human Ecology*, 36 : 259-272.

Codjia E. J., Yorou N. S., 2014
Ethnicity and gender variability in the diversity, recognition and exploitation of wild Useful Fungi in Pobè région (Benin, West Africa). *Journal of Applied Biosciences*, 78 : 6729-6742.

Coulibaly D., 2018
Parc national de Taï en Côte d'Ivoire : entre enjeux de conservation et enjeux économiques. *Revue africaine d'Anthropologie, Nyansa-Pô*, 27 : 174-191.

De Kesel A., Codjia J. T. C., Yorou N. S., 2002
Guide des champignons comestibles du Bénin (Guide of the edible mushrooms of Benin). Jardin botanique national de Belgique, Meise, 275 p.

De Kesel A., Kasongo B., Degreef J., 2017
Champignons comestibles du Haut-Katanga (R. D. Congo). *ABC Taxa*, 17, 297 p.

Dijk V. H., Onguene A. N., Kuyper T. W., 2003
Knowledge and utilization of edible mushrooms by local populations of the rain forest of South Cameroon. *Ambio: a journal of the human environment*, 32 (1) : 19-23.

Dossou M. E., Houessou G. L., Lougbegnon O. T., Codjia J. T. C., 2012
Étude ethnobotanique des ressources forestières ligneuses de la foret marécageuse d'Agonve et terroirs connexes au Bénin. *Tropicultura*, 30 : 41-48.

Ducousso M., Ba A. M., Thöen D., 2003
Les champignons ectomycorhiziens des forêts naturelles et des plantations d'Afrique de l'Ouest : une source de champignons comestibles. *Bois et forêts des tropiques*, 275 : 51-63.

Ebika T. N. S., Codjia J. E. I., Yorou N. S., Yeba A., 2018
Les champignons sauvages comestibles et connaissances endogènes des peuples autochtones Mbènzèlè et Ngombe de la République du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 126 : 12675-12685 J.

Eyi Ndong H., 2009
Étude des champignons de la forêt dense humide consommés par les populations du nord du Gabon. Thèse de doctorat, université de Belgique, 247 p.

Eyi Ndong H., Degreef J., De Kesel A., 2011
Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale, taxonomie et identification. Bruxelles, *ABC taxa*, 10, 255 p.

Fadeyi O. G, Badou S. A., Aignon H. L., Codjia J. E. I., Moutouama J. K., Yorou N. S., 2017
Études ethnomycologiques et identification des champignons sauvages comestibles les plus consommés dans la région des Monts-Kouffe au Bénin (Afrique de l'Ouest). *Agronomie africaine*, 29 (1) : 93-109.

Guillaumet J. L., Adjanohoun E., 1971
« La végétation de la Côte d'Ivoire ». *In* Avenard J.-M. *et al*., éd : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Mémoire Orstom, 50, IRD Éditions, Paris : 157-263.

Guissou K. M. L., Lykke A. M., Sankara P., Guinko S., 2008
Declining wild mushrooms recognition and usage Burkina-Faso. *Economic Botany*, 62 (3) : 530-539.

Härkönen M., Niemelä T., Mbindo K., Kotiranta H., Piearce G., 2015
Zambian mushrooms and mycology. *Norrlinia*, 29 : 1-208.

Heim R., 1936
« Aperçu sur les champignons toxiques et comestibles des colonies françaises ». *In* Curasson G. (éd.) : *Pathologie exotique vétérinaire et comparée*, 3 : 1-31.

Koné N. Y. A., Konate S., Linsenmair K. E., 2013
Socio-economical aspects of the exploitation of Termitomyces fruit bodies in central and southern Côte d'Ivoire: raising awareness for their sustainable use. *Journal of Applied Biosciences*, 70 : 5580-5590.

Kouagou R. Y., Tsopmbeng N. G., Njouonkou L. A., 2016
Diversité et ethnomycologie des champignons sauvages utilisés dans la préfecture de la Lobaye en République centrafricaine. *Bulletin scientifique sur l'environnement et la biodiversité*, 38 p.

Kouassi K. C., 2012
Taxinomie, écologie et ethnomycologie des champignons de Côte d'Ivoire : cas des Macromycètes des forêts classées de Bouaflé, Bayota et Niégré. Thèse de doctorat., université d'Abidjan, 216 p.

Kouassi K. C., N'Takpé K. M. B., Da K. P., Traoré D., 2007
Le genre *Chlorophyllum* Mass. : nouvelles espèces de Côte d'Ivoire. *Sciences et techniques appliquées*, 1 : 103-114.

Martinet F., 1975
L'immigration étrangère dans la région de Soubré (Sud-Ouest ivoirien). Orstom, Petit-Bassam, 68 p.

Locquin M., 1954
Une chanterelle comestible de la Côte d'Ivoire : *Hygrophoropsis magnenotii* sp. *Journal d'agriculture et de botanique tropicale appliquée*, 1 : 359-361.

Madamo M. F., Lubini A., Lukoki F., Kidikwadi E., 2017
Champignons comestibles de la région de Kikwit en République démocratique du Congo : approche écologique, nutritionnelle et socio-économique. *Journal of Innovation and Applied Studies*, 21 : 124-136.

Malaisse F., De Kesel A., N'gasse G., Lognay G., 2008
Diversité des champignons consommés par les pygmées Bofi de la Lobaye (République centrafricaine). *International Journal of Tropical Ecology and Geography*, 32 : 1-8.

Philips O., Gentry A. H., 1993
The useful plants of Tambopata, Peru. II Statistical hypothesis tests with a new quantitative technique. *Economic Botany*, 47 (1) : 33-43.

Pitta B. M. S., Yian G. C., Adjessi A. B. J. P. E., Tiébré M. S., 2020
Développement de la culture des champignons sauvages comestibles en Côte d'Ivoire : production des semences et tests de croissance des carpophores sur quatre substrats organiques. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 13 (3) : 08-14.

RGPH, 2014
Recensement général de la population et de l'habitat : résultats globaux. Recensement général de la population et de l'habitat, Côte d'Ivoire, 26 p.

Rammeloo J., Walleyn R., 1993
The edible fungi of Africa South of the Sahara: a literature survey. *Scripta Botanic Belgium*, 5 : 1-62.

Soro B., Koné N. A., Vanié-Léabo L. L. P., Konaté S., Bakayoko A., Koné D., 2019
Phytogeographical and sociolinguistical patterns of the diversity, distribution, and uses of wild mushrooms in Côte d'Ivoire, West Africa. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 15 (5), 12 p.

Thiombiano A., Kampmann D. (éd.), 2010
Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest. Volume II, Burkina Faso. Ouagadougou/Frankfort.

Yian G. C., 2018
Champignons comestibles du Sud de la Côte d'Ivoire : cas des régions du Gôh, de l'Agneby-Tiassa et du district d'Abidjan. Thèse de doctorat, université d'Abidjan, 241 p.

Yian G. C., Tiébré M. S., 2018
Leucoagaricus cf. *americanus*, an edible mushroom species poorly known of forest area of Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (1) : 501-507.

Yian G. C., Pitta B. M. S., Tiébré M. S., 2020
Champignons sauvages comestibles et pharmacopée traditionnelle en zone forestière de la Côte d'Ivoire. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*, 15 (2) : 35-45.

Yorou N. S., De Kesel A., 2001
Indigenous ethnomycological knowledge of the Nagot people from the centre of Benin (West Africa). *Systematics and Geography of Plants*, 71 : 627-637.

Zanh G. G., Barima Y. S. S., Kouakou K. A., Sangne Y. C., 2016
Usages des produits forestiers non-ligneux selon les communautés riveraines de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal Pure Applied Bioscience*, 4 (5) : 212-225.

Zoho Bi F. G. A., Amoikon K. E., Ahui-Bitty M.-L. B., Kouamé K. G., Kati-Coulibaly S., 2016
Nutrients value of some edible mushrooms in Côte d'Ivoire. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 7 (3) : 140-145.

Chapitre 17

Usage et écologie des champignons du parc national de Kahuzi-Biega

Nindja, République démocratique du Congo

Guillaume Amani Katimbura
Université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo

Alfred Cubaka
Université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo

Bienfait Birindwa
Université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo

Emmanuel Irenge
Université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo

Legrand Cirimwami
Université du Cinquantenaire, République démocratique du Congo

Introduction

Les champignons sauvages sont les « vedettes » des produits forestiers non ligneux (PFNL) (Ménard, 2010). Ils sont très recherchés par les populations forestières du monde entier, et plus particulièrement en Afrique centrale (Heim, 1977 ; Yorou et De Kesel, 2002 ; Zanh *et al*., 2016). Les groupes socio-ethniques africains disposent d'un savoir ethnomycologique important sur la comestibilité des PFNL, et sur leurs usages en médecine thérapeutique et en sorcellerie (Walleyn et Rammeloo, 1994 ; Buyck, 1994 ; Härkönen *et al*., 1995 ; Heim, 1977 ; Boa, 2006). Près de 300 espèces de champignons sauvages comestibles ont été signalées en Afrique subsaharienne (Rammeloo et Walleyn, 1993), mais seulement moins de 100 espèces ont été identifiées dans les forêts denses d'Afrique centrale (Eyi Ndong *et al.*, 2011 ; Milenge et De Kesel, 2020) du fait de la rareté des inventaires de champignons en comparaison avec ceux des végétaux et des animaux (Lodge et Cantrell, 1995).

D'une taille généralement réduite du point de vue morphologique, le nombre d'espèces de champignons est estimé entre 0,5 à 9 millions (Hawksworth, 1991 ; De Kesel *et al*., 2002), dont 5 % seulement environ sont connus et décrits (Hawksworth, 1991). Pourtant, les champignons jouent un rôle important dans les écosystèmes naturels (Buyck, 1994) dont ils font partie intégrante ; ils résistent bien aux perturbations que connaissent les écosystèmes (Tibuhwa, 2011). Certains champignons se rencontrent associés à d'autres organismes : les saprotrophes qui interviennent dans la décomposition de la litière (De Kesel *et al*., 2002) et les ectomycorhizes, symbioses végétales les plus répandues dans les écosystèmes terrestres (Fortin *et al*., 2008 ; Smith et Read, 2008). Les champignons interviennent dans la séquestration du carbone, et ils sont les seuls organismes capables de décomposer la lignine (Hawksworth, 1991). Les données concernant les connaissances traditionnelles sur les champignons ne sont pas suffisantes en Afrique centrale et les travaux de référence dans cette région datent des années 1990 (Rammeloo et Walleyn, 1993).

Les forêts de la République démocratique du Congo (RDC) sont riches en termes de biodiversité végétale (Cirimwami *et al.*, 2019) et mycologique (Milenge *et al*., 2018). Les recherches sur les champignons en RDC, bien que fragmentaires, se sont principalement concentrées sur l'écologie, l'usage et les essais de culture de champignons dans l'ouest du pays (Dibaluka *et al.*, 2010 ; Diansambu *et al.*, 2015 ; Madamo *et al.*, 2017). D'autres recherches sur l'écologie et l'usage des champignons ont également été menées dans le nord-est de la RDC, au sein de la cuvette centrale (Milenge *et al.*, 2018 ; 2019 ; Milenge et De Kesel, 2020). Bien que cette zone regorge de champignons utiles et comestibles (78 espèces recensées), un tiers d'entre elles environ (25 espèces) ne sont pas consommées par les populations locales (Milenge et De Kesel, 2020), ce qui révèle une connaissance limitée sur les champignons utiles de la région, ainsi qu'un manque de communication sur ce sujet.

Dans l'est du pays, dans la région du rift Albertin, une des zones d'Afrique subsaharienne très riches en biodiversité (Plumptre *et al.*, 2003 ; Cirimwami *et al*., 2019), les études sur les champignons sont moins nombreuses. Parmi elles, la thèse de Balezi (2013) a porté sur l'écologie et la taxonomie des hymenochaetales, « champignons polypores » de haute altitude, du parc national de Kahuzi-Biega ou encore les travaux de Mushagalusa *et al.* (2017) et de Amani *et al*. (2019) sur les essais de culture de champignons sur divers substrats issus de déchets biodégradables agricoles.

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude a été de connaître la diversité et l'écologie des champignons de la zone de transition entre la basse et la haute altitude du parc national de Kahuzi-Biega, ainsi que leur utilisation par les populations locales.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

Le parc national de Kahuzi-Biega (PNKB) est situé dans l'est de la République démocratique du Congo (RDC), à cheval sur les trois provinces Sud-Kivu, Nord-Kivu et Maniema, entre les latitudes 1°36'-2°37' Sud et 28°33'-28°46' Est (Nishuli, 2009). Il s'étend sur 6 000 km^2, du bassin du fleuve Congo près d'Itebero-Utu jusqu'au nord-ouest de la ville de Bukavu. Il tire son nom des deux monts les plus élevés de ce massif forestier, les monts Kahuzi (3 326 m d'altitude) et Biega (2 760 m d'altitude) (Cirimwami *et al.*, 2017). Le parc possède deux grandes zones écologiques, la première à basse altitude (de 650 à 1 250 m) et la seconde à haute altitude (de 1 700 à 3 326 m). Ces deux zones sont reliées par une zone de transition entre 1 250 et 1 700 m d'altitude (Fischer, 1996 ; Cirimwami *et al.*, 2019). La zone d'étude se situe dans la collectivité chefferie de Nindja, partie riveraine du PNKB à 80 km de la ville de Bukavu (fig. 1).

Figure 1
Localisation de la zone d'étude, la collectivité chefferie de Nindja dans l'est de la République démocratique du Congo.
Source : L. Cirimwami.

L'expulsion des autochtones pygmées au profit de la mise en domaine des forêts et de la conservation de la nature a transformé le PNKB en espace des conflits, caractérisé par des violences entre pygmées et gardes-parc du PNKB à la suite

de leur retour en masse dans les aires du parc et d'actes de destruction de la biodiversité (abattage d'arbres, braconnage) (Mirindi et Kaganda, 2021). Presque toutes les études socio-anthropologiques affirment que les pygmées (Bacwa, Bambuti, Batwa) sont les tout premiers habitants des forêts de l'Afrique centrale. Ils y menaient un mode de vie traditionnel (Bahuchet, 1991) dominé par le nomadisme (World Bank, 2009 ; Bisusa, 2008), expliquant ainsi leur fort attachement aux espaces occupés, en particulier la forêt qu'ils considèrent comme un tout en termes de protection de leurs pratiques traditionnelles (Kapupu, 2001). Les populations bantoues qui se sont retrouvées également dans les limites du PNKB lors de son extension en 1975 ont refusé de se délocaliser et les gestionnaires du parc n'ont jamais pu rien y faire (Mirindi, 2021).

Collecte et traitement des données

La zone d'échantillonnage a été choisie sur la base de sondages locaux qui attestent de la présence de champignons dans les marchés et de leur consommation. Les personnes enquêtées ont été choisis pour leur connaissance des champignons récoltés. Ainsi, 29 personnes, douze cultivateurs, dix vendeurs et sept enfants (élèves), ont été interrogées. Six localités ont été visitées au cours de la prospection de terrain, mais une seule (Kabona) a été retenue pour la suite des travaux du fait de sa proximité avec le PNKB.

La collecte a été effectuée pendant la saison pluvieuse (de novembre à février 2015), période favorable à la poussée des champignons. La méthode itinérante a été utilisée pour récolter les champignons dans les milieux naturels et semi-naturels, le long des pistes et des sentiers, ainsi que dans le village et les marchés. Les photos des champignons ont été montrées aux paysans pour savoir leur nom vernaculaire et toute information sur leur utilisation.

Dans le cadre de cette étude, nous avons recouru à trois techniques majeures : les ramassages de champignons dans différents habitats, les *focus-group* pour les entretiens et un questionnaire d'enquête (Nyumba *et al.*, 2017).

Chaque espèce observée a été photographiée *in situ* pour une identification ultérieure, car il est difficile de la faire sur le terrain. Les spécimens ont été prélevés à l'aide d'un couteau puis stockés dans un panier. Au camp, ils ont été séchés dans un séchoir ou au soleil, ou encore à la fumée, puis emballés dans un sac plastique pour être conservés au laboratoire de physiologie végétale et microbiologie appliquée de l'université officielle de Bukavu. La classification a été facilitée par des guides d'identification des champignons, dont le *Mini Larousse des champignons* (Eyssartier, 2007), les *Champignons comestibles et vénéneux* (Perreau, 1995), les *Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale* (Eyi Ndong *et al.*, 2011) et le *Guide des champignons comestibles du Bénin* (De Kesel *et al.*, 2002). Les données ont été traitées avec le logiciel R (R Core Team, 2019) et avec Excel pour les analyses statistiques et la réalisation des graphiques.

Résultats

Caractéristiques générales de la mycoflore de Nindja

Un total de 38 espèces de champignons, dont 30 identifiées réparties en 21 genres et 11 familles, a été collecté (tabl. 1). Ces espèces croissent sur quatre types de substrats – litière (humus), termitière (sol), bois mort et bois vivant – et pour trois usages – comestible, comestible et médicinal, toxique. Vingt-et-un champignons ont été identifiés au niveau de l'espèce, trente ont été identifiés au niveau du genre seulement et huit n'ont pas été identifiés.

Tableau 1
Liste des champignons comestibles inventoriés.

N°	Espèces	Noms vernaculaires (dialecte shi)	Familles	Ordres
1	*Agaricus campestris* L.		Agaricaceae	Agaricales
2	*Agaricus* sp.		Agaricaceae	Agaricales
3	*Macrolepiota* sp.		Agaricaceae	Agaricales
4	*Macrolepiota procera* (Scop.) Sing.		Agaricaceae	Agaricales
5	*Auricularia cornea* Ehrenb.	*Bitere*	Auriculariaceae	Auriculariales
6	*Auricularia delicata* (Fr.) P. Henn. Bot.	*Bitere*	Auriculariaceae	Auriculariales
7	*Auricularia* sp.	*Bitere*	Auriculariaceae	Auriculariales
8	*Termitomyces robustus* (Beeli) Heim	*Bihumyo*	Lyophyllaceae	Agaricales
9	*Termitomyces microcarpus* (Berk. & Br.) Heim	*Bushwa*	Lyophyllaceae	Agaricales
10	*Marasmius arborescens* (Henn.) Beeli		Marasmiaceae	Agaricales
11	*Marasmius bekolacongoli* Beeli		Marasmiaceae	Agaricales
12	*Marasmius* sp.		Marasmiaceae	Agaricales
13	*Neonothopanus hygrophanus* (Mont.) De Kesel & Degreef, comb. nov.	*Bunyinyi*	Marasmiaceae	Agaricales
14	*Trogia infundibuliformis* Berk. & Br.		Marasmiaceae	Agaricales
15	*Mycena* sp.	*Kanyenyera*	Mycenaceae	Agaricale
16	*Oudemansiella mucidica*		Physalacriaceae	Agaricales
17	*Armillaria heimii* Pegler		Physalacriaceae	Agaricales
18	*Gerronema hungo* (Henn.) Degreef & Eyi		Physalacriaceae	Agaricales
19	*Clitocybe* sp.		Physalacriaceae	Agaricales

[…]

[…]

N°	Espèces	Noms vernaculaires (dialecte shi)	Familles	Ordres
20	*Pleurotus djamor* (Rumph. ex Fr.)	*Bunyinyi*	Pleurotaceae	Agaricales
21	*Pleurotus* sp.	*Bunyinyi*	Pleurotaceae	Agaricales
22	*Pleurotus flabellatus* (Berk. & Br.) Sacc.	*Bunyinyi*	Pleurotaceae	Agaricales
23	*Lentinus squarrosulus* Mont.		Polyporaceae	Polyporales
24	*Echinochaete brachypora* (Mont.) Ryv.		Polyporaceae	Polyporales
25	*Polyporus squamosus* (Hudson: Fries) Fries		Polyporaceae	Polyporales
26	*Schizophyllum commune* Fr.	*Bukoko*	Schizophyllaceae	Agaricales
27	*Hypholoma* sp.	*Busheshe*	Strophoriaceae	Agaricales
28	*Collybia aurea* (Beeli)	*Bushabira*	Tricholomataceae	Agaricales
29	*Lepista sordida* (Schumach.) Singer		Tricholomataceae	Polyporales
30	*Lepista* sp.		Tricholomataceae	Polyporales
31	Huit espèces non identifiées			

Répartition des enquêtés par âge, sexe et localité d'origine

Une enquête a été menée sur 29 personnes âgées de 10 à plus de 46 ans (tabl. 2), femmes et hommes (tabl. 3) et originaires de différentes localités (tabl. 4).

Tableau 2
Répartition des personnes enquêtées par âge.

Âge	Nombre d'enquêtés	Proportion (%)
10-18 ans	11	37,93
19-30 ans	8	27,59
31-45 ans	4	13,79
Plus de 46 ans	6	20,69
Total	**29**	**100**

Tableau 3
Répartition des personnes enquêtées par genre.

Genre	Nombre d'enquêtés	Proportion (%)
Hommes	15	51,72
Femmes	14	48,28
Total	**29**	**100**

Tableau 4
Répartition des personnes enquêtées par localité d'origine.

Nom de la localité	Nombre d'enquêtés	Proportion (%)
Ihembe	8	27,59
Kabona	8	27,59
Mahali	5	17,24
Chikenzi	4	13,79
Buloho	4	13,79
Total	**29**	**100**

Les localités les mieux représentée étaient Ihembe et Kabona.

Connaissance mycologique locale

À Nindja, quelle que soit la profession, la majorité des personnes enquêtées a une bonne connaissance des champignons (Khi² = 1,32 ; ddl = 2 ; p-value = 0,517). Du fait que leurs parcelles sont en forêt, les cultivateurs connaissent mieux les champignons que les deux autres groupes identifiés, les vendeurs et les enfants (88 % des 38 espèces de champignons inventoriées) (fig. 2).

Figure 2
Niveau de connaissance des personnes enquêtées sur les champignons.

Usages, conservation et valeur économique

Usages des champignons

Les champignons sont cueillis par tout le monde à Nindja, et aucune interdiction religieuse ni traditionnelle n'influe sur leur consommation. Ils y sont connus pour trois propriétés principales : la comestibilité, la comestibilité et la médication, la toxicité (tabl. 5).

Sur les 38 espèces de champignons recensées, 26 sont bien connues des personnes enquêtées (63,4 %), dont 18 espèces (43,9 %) comestibles (Khi² = 16,

ddl = 2, p-value = 0,0003). Plus d'un quart des espèces collectées (15 espèces, soit 36,6 %) restent méconnues de la population enquêtée pour leurs propriétés et/ou utilités.

Tableau 5
Les principales propriétés des espèces inventoriées.

Propriété	Nombre d'espèces	Pourcentage
Comestible	18	47,4
Comestible et médicinale	6	15,8
Toxique	2	5,3
Inconnue	12	31,5
Total	**38**	**100**

Techniques traditionnelles de conservation

Pour certaines espèces, la population utilise des techniques traditionnelles appropriées pour la conservation des champignons, surtout quand la quantité ramassée est importante et que les champignons ne peuvent pas être tous consommés ou vendus rapidement (tabl. 6).

Tableau 6
Les techniques traditionnelles de conservation des champignons récoltés.

Technique de conservation	Espèces de champignon	Utilisation par les personnes enquêtées (%)
Séchage au soleil	*Termitomyces microcarpus* (Berk. & Br.) Heim	11
Séchage au feu et au soleil	*Auricularia cornea* Ehrenb *Auricularia delicata* (Fr.) *Schizophyllum commune* (L) Fr.	100 100 14
Trempage dans l'eau	*Neonothopanus hygrophanus* (Mont.) De Kesel & Degreef, comb. nov	17,2

Pour plusieurs espèces, bien que comestibles ou comestibles et médicinales, aucune technique de conservation n'est utilisée du fait des faibles quantités ramassées.

Valeur économique

Sur le marché, seuls trois genres comestibles sont vendus : *Termitomyces robustus, Auricularia cornea, A. delicata* et *Schizophyllum commune* (tabl. 7).

Les prix des champignons sur les marchés diffèrent selon le goût, la saison de récolte (quand l'espèce est abondante en forêt), la rareté de l'espèce et la quantité récoltée.

Tableau 7
Valeur marchande de quelques espèces de champignons.

Espèces	Prix au kilo (converti en USD)
Schizophyllum commune (L) Fr.	1
Hypholoma sp.	0,88
Termitomyces robustus (Beeli) Heim	0,85
Pleurotus flabellatus (Berk. & Br.) Sacc.	0,22
Collybia aurea (Beeli)	0,125
Neonothopanus hygrophanus (Mont.) De Kesel & Degreef, comb. nov	0,125
Auricularia cornea Ehrenb	0,05
Auricularia delicata (Fr.)	0,05

Figure 3
Quelques champignons comestibles du PNKB, à Nindja.
A. *Collybia aurea* (Beeli), B. *Auricularia delicata* (Fr.) P. Henn., Bot., C. *Auricularia cornea* Ehrenb.,
D. *Schizophyllum commune* Fr., E. *Termitomyces robustus* (Beeli) Heim.,
F. *Termitomyces microcarpus* (Berk. & Br.) Heim., G. *Hypholoma* sp.,
H. *Neonothopanus hygrophanus* (Mont.) De Kesel & Degreef, comb. nov.,
I. *Pleurotus flabellatus* (Berk. & Br.) Sacc.
Sources : F et G – *Edible Fungi of Tropical Africa*.

Écologie des espèces collectées

Biotopes

Plusieurs formations végétales ont été visitées pour la collecte des champignons (fig. 4).

Figure 4
Biotopes dans lesquels les champignons ont été collectés.

À Nindja, plusieurs espèces de champignons se rencontrent en forêt primaire ou secondaire. Toutefois, cette répartition selon les biotopes ne montre pas de différence significative (Khi² = 6,44 ; ddl = 4 ; p-value = 0,169).

Substrats

La majorité des espèces de champignons collectées à Nindja sont terricoles, poussant sur la litière et des termitières ou lignicoles, se développant sur des bois, mort ou vivant (Khi² = 18,42 ; ddl = 3 ; p-value = 0,0003) (tabl. 8).

Tableau 8
Les types de substrats sur lesquels se développent les champignons.

Types	Substrats	Nombre d'espèces	Pourcentage
Espèces terricoles	Litière	18	48,8
	Termitière	2	
Espèces lignicoles	Bois mort	16	51,2
	Bois vivant	2	

Modes de vie

Trois modes de vie sont distingués : la saprotrophie, le symbiotisme et le parasitisme (fig. 5). La répartition de champignons au sein de ces trois types de modes de vies n'est pas équitable (Khi² = 20,10 ; ddl = 2 ; p-value < 0,0001). Les champignons vivant sur la matière morte – les saprotrophes – sont les mieux représentés à Nindja.

Figure 5
Modes de vie des espèces de champignons récoltées.

Discussion

Les analyses ethnomycologiques montrent que les habitants de Nindja ont une bonne connaissance des champignons. Comme partout où vivent des populations bantou, les champignons sont préférentiellement récoltés par les femmes et les enfants alors que, chez les Pygmées d'Afrique centrale, les hommes participent également à leur récolte (Eyi Ndong et Degreef, 2010). À Nindja, les cultivateurs connaissent 88 % des 41 espèces de champignons inventoriées du fait de la localisation de leurs champs en forêt. Comme dans la plupart des régions d'Afrique centrale, la cueillette des champignons se fait généralement à l'occasion des sorties en forêt pour la chasse et la pêche, mais aussi au retour des champs (Eyi Ndong *et al*., 2011).

Des 26 espèces de champignons connues pour leurs propriétés, celles comestibles sont en tête. Par conséquent, l'intérêt porté aux champignons par les populations africaines a des implications nutritionnelles (Eyi Ndong *et al*., 2011 ; Milenge et De Kesel, 2020) et médicinales (Milenge et De Kesel, 2020). Très peu d'intoxications dues à l'ingestion de champignons ont été mentionnées en Afrique tropicale (Walker, 1931 ; Härkönen, 1995 ; Härkönen *et al.*, 1995 ; De Kesel *et al.*, 2002).

Les prix des champignons au marché de Nindja sont faibles et varient selon leurs qualités gustatives, les saisons de récolte, la rareté de l'espèce et la quantité récoltée. Contrairement à la région zambézienne et à l'Afrique de l'Est, où dominent les forêts claires de type Miombo, la vente des champignons en RDC est une véritable activité commerciale, rentable et qui génère d'importants revenus. C'est également le cas au Burundi (Buyck et Nzigidahera, 1995), dans la province du Katanga en RDC (Thoen *et al.*, 1973 ; Degreef *et al.*, 1997), en Tanzanie (Härkönen *et al.*, 1995), en Zambie (Pegler et Piearce, 1980) ou encore au Zimbabwe (Piearce et Sharp, 2000). Degreef *et al.* (1997) et Eyi Ndong (2009) ont également montré que les prix de vente des champignons variaient selon trois grands facteurs, à savoir la distance parcourue par le ramasseur, la saison et la disponibilité des espèces comestibles.

La liste des 38 espèces de champignons recensées révèle la diversité des champignons dans cette partie du corridor entre les deux zones écologiques du PNKB (basse et haute altitude), comme c'est le cas aussi dans d'autres forêts d'Afrique tropicale (Wang et Qiu, 2006 ; Verbeken et Walleyn, 2010 ; Tedersoo *et al.*, 2012 ; Milenge *et al.*, 2018). Plusieurs espèces ramassées à Nindja sont terricoles, poussant sur les litières, et lignicoles, se développant sur les bois morts. Ceci est lié à la forte densité des arbres morts et à l'importance des litières dans les formations explorées, mais aussi à l'activité des espèces saprotrophes (*Pleurotus, Agaricus, Auricularia, Schizophyllum*) qui sont des décomposeurs très importants intervenant dans la formation de l'humus (De Kesel *et al.*, 2002). En effet, les champignons comestibles saprotrophes dominent à Nindja, ainsi qu'à Yangambi et à Yoko dans la cuvette centrale congolaise (Milenge et De Kesel, 2020).

Conclusion

Cette étude a permis d'inventorier 38 espèces de champignons, dont 18 sont comestibles, à Nindja, dans la zone de transition entre les basses et hautes altitudes du PNKB. Ces 38 espèces de champignons sont reparties dans 30 genres et 16 familles. La majorité d'entre elles sont récoltées dans la forêt primaire et la forêt secondaire sur quatre types de substrats.

La population de Nindja dispose d'un savoir important sur les champignons de leur terroir et ils en font des usages divers. Même minoritaires, il existe des champignons toxiques à Nindja, et des études approfondies ethnomycologiques et ethnomédecinales mériteraient d'être menées afin d'éviter tout risque d'intoxication de la population. Ces études permettraient aussi d'identifier des moyens d'extraire et d'isoler les principes actifs de ces champignons. Par ailleurs, vu la faible production naturelle des champignons en forêts, et pour limiter et atténuer les conflits entre le gestionnaire du parc et la population locale (liés au braconnage), la mise en culture de ces champignons pourrait être une des solutions envisageables.

Remerciements

Nous remercions le chercheur Gabriel Balagizi, du laboratoire de physiologie végétale et microbiologie appliquée de l'université officielle de Bukavu, pour sa contribution scientifique dans la finalisation de cette étude, ainsi que la population de Nindja qui a accepté d'y prendre part en répondant à nos questions.

Références bibliographiques

Amani G., Cubaka A., Baguma G., Irenge E., Casinga C. Cirimwami L., 2019
Effet des déchets agricoles sur la phénologie et le rendement de deux souches de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kummer (Fungi, Basidiomycotina). *Afrique Science*, 15 (6) : 276-285.

Bahuchet S., 1991
Les Pygmées d'aujourd'hui en Afrique centrale. *Journal des africanistes*, 61 (1) : 5-35.

Balezi Z., 2013
Taxonomie et écologie des Hymenochaetales dans les forêts de montagne de l'Est de la République démocratique du Congo. Le cas du parc national de Kahuzi-Biega. Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain, Belgique. http://hdl.handle.net/2078.1/135913

Bisusa G., 2008
Mécanisme de survie des PA pygmées, périphériques des monts Kahuzi-Biega, province du Sud-Kivu, territoire de Kabare et Kalehe en RDC. *Cahier du CER PRU*, 17 (B), ISDR-Bukavu.

Boa E., 2006
Champignons comestibles sauvages. Vue d'ensemble sur leurs utilisations et leur importance pour les populations. Produits forestiers non ligneux, 17, FAO, Rome, 157 p.

Buyck B. (éd.), 1994
Ubwoba. Les champignons comestibles de l'Ouest du Burundi. AGCD, Bruxelles, 123 p.

Buyck B., Nzigidahera B., 1995
Ethnomycological notes from Western Burundi. *Belg. J. Bot.*, 128 (2) : 131-138.

Cirimwami L., Gourlet-Fleury S., Gonmadje C., Kahindo J-M., Doumenge C., Gonmadje C., Amani C., 2017
Does the altitude affect the stability of montane forests? A study in the Kahuzi-Biega National Park (Democratic Republic of the Congo). *Applied Ecology and Environmental Research*, 15 (4) : 1697-1713.

Cirimwami L., Kahindo J-M., Doumenge C., Amani C., 2019
The effect of elevation on species richness in tropical forests depends on the considered lifeform: results from an East African mountain forest. *Tropical Ecology*, 60 (4) : 473-484.

De Kesel A., Codjia J. C., Yorou S. N. (éd.), 2002
Guide des champignons comestibles du Bénin. Jardin botanique national de Belgique-Cecodi, Cotonou, 275 p.

Degreef J., Malaisse F., Rammeloo J., Baudart E., 1997
Edible mushrooms of the Zambezian woodland area: a nutritional and ecological approach. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 1 : 221-231.

Diansambu I. M., Dibaluka S. M., Lumande J. K., Degreef J., 2015
Culture de trois espèces fongiques sauvages comestibles du Groupement de Kisantu (R. D. Congo) sur des substrats ligno-cellulosiques compostés. *Afrique Science*, 11 (3) : 241-261.

Dibaluka S. M., Lukoki F. L., De Kesel A., Degreef J., 2010
Essais de culture de quelques champignons lignicoles comestibles de la région de Kinshasa (R. D. Congo) sur divers substrats lignocellulosiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14 (3) : 417-422.

Eyi Ndong H., 2009
Étude *des champignons de la forêt dense humide consommés par les populations du nord du Gabon.* Thèse inédite, université libre de Bruxelles, 271 p.

Eyi Ndong, H., Degreef J., 2010
« Diversité des espèces de *Cantharellus, Lentinus* et *Termitomyces* consommées par les Pygmées du Nord du Gabon ». *In* Van Der Burgt J., Van Der Maesen J., Onana J.-M. (éd.) : *Systématique et conservation des plantes africaines.* Royal Botanic Gardens Kew : 133-141.

Eyi Ndong H., Degreef J., Kesel A., 2011
Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale. Taxonomie et identification. ABC Taxa, 10 : 264 p. www.abctaxa.be

Fischer E. (ed.), 1996
Die Vegetation du Parc national de Kahuzi-Biega, Sud-Kivu, Zaïre. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.

Fortin J. A., Plenchette C., Piché Y., 2008
Les mycorhizes, la nouvelle révolution verte. Éditions Quae, Versailles, 132 p.

Eyssartier G. (éd.), 2007
Mini Larousse des champignons.
Éditions Larousse, Paris, 448 p.

Härkönen M., 1995
An ethnomycological approach to Tanzanian species of Amanita. *Symbolae Botanicae Upsalienses*, 30 (3) : 145-151.

Härkönen M., Saarimäki T., Mwasumbi L., 1995
Edible mushrooms of Tanzania.
Karstenia, 35 : 1-92.

Hawksworth D. L. 1991
The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance and conservation. *Mycological Research*, 95 : 641-655.

Heim R., 1977
Termites et champignons. Les champignons termitophiles d'Afrique noire et d'Asie méridionale. Éditions Boubée, Paris, 207 p.

Perreau J., 1995
Champignons comestibles et vénéneux.
7e édition, Éditions Lechevalier, Paris, 527 p.

Kapupu D. M., 2001
La situation des Bambuti-Batwa et le parc national de Kahuzi Biega : les cas des peuples Barhwa et Babuluko du PNKB. Forest Peoples Projet (FPP), Étude de cas n° 2.

Kikufi A., Lejoly J., Lukoki F., 2017
État actuel de la biodiversité végétale du territoire de Kimvula au Sud-Ouest de la République démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 19 (4) : 929-943.

Lodge D. J., Cantrell S., 1995
Fungal communities in wet tropics: variation in time and space. *Canadian Journal of Botany*, 73 : 1391-1398.

Madamo M. F., Lubini A., Lukoki F., Kidikwadi E., 2017
Champignons comestibles de la région de Kikwit en République démocratique du Congo : approche écologique, nutritionnelle et socio-économique. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 21 (1) : 124-136.

Ménard M., 2010
Les produits forestiers non ligneux : c'est pour vrai ! Forêts de chez nous, 1 : 7-14.

Milenge K. H., De Kesel A., 2020
Wild edible ectomycorrhizal fungi: an underutilized food resource from the rainforests of Tshopo province (Democratic Republic of the Congo). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16 (8). https://doi.org/10.1186/s13002-020-0357-5

Milenge K. H., Nshimba S. H., Masumbuko C. N., Nabahungu L. N., Degreef J., De Kesel A., 2019
Host plants and edaphic factors influence the distribution and diversity of ectomycorrhizal fungal fruiting bodies within rainforests from Tshopo, Democratic Republic of the Congo. *African Journal of Ecology*, 57 (2) : 247-259.

Milenge K. H., Nshimba S. H., De Kesel A. 2018
Macrofungal diversity in Yangambi Biosphere reserve and Yoko reserve rainforests of the Democratic Republic of the Congo. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 10 (9) : 348-356.

Mirindi W.-B., Kaganda P.-M., 2021
Perspectives pour une cohabitation pacifique entre le PNKB, les peuples autochtones pygmées et les autres communautés riveraines.
https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00XK66.pdf

Mushagalusa G., Mondo M. J., Mukengere B. E., Balezi Z. A., 2017
Effets des substrats à base de fanes de haricot et de feuilles de bananier sur la productivité des souches de *Pleurotus ostreatus* (P969 et HK51) sur étagère et par gobetage. *Tropicultura*, 35 : 102-109.

Nyumba T. O., Wilson K., Derrick C. J., Mukherjee N., 2017
The use of focus group discussion methodology: insights from two decades of application in conservation. *Methods Ecol. Evol*., 9 : 20-32.

Pegler D. N., Piearce G. D., 1980
The edible mushrooms of Zambia. *Kew Bull*., 35 : 475-491.

Piearce G. D., Sharp C., 2000
Vernacular names of Zimbabwean fungi: a preliminary checklist. *Kirkia*, 17 (2) : 219-228.

Plumptre A. J., Behangana M., Ndomba E., Davenport T., Kahindo C., Kityo R., Ssegawa P., Eilu G., Nkuutu D., Owiunji I., 2003
The biodiversity of the albertine rift. Albertine rift technical reports, 3.

R Core Team, 2019
R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. https://www.R-project.org/.

Nishuli B. R., 2009
Plan général de gestion 2009-2019. Institut congolais pour la conservation de la nature, ICCN, Kinshasa, 129 p.

Rammeloo J., Walleyn R., 1993
The edible fungi of Africa south of the Sahara: a literature survey. *Scripta Bot. Belg*., 5 : 1-62.

Smith S., Read J., 2008
Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York, 800 p.

Tedersoo L., Bahram M., Toots M., Diedhiou A., Henkel T., Kjøller R., Morris M., Nara K., Nouhra E., Peay K., Polme S. M. R., Smith M., Kõljalg U., 2012
Towards global patterns in the diversity and community structure of ectomycorrhizal fungi. *Mol. Ecol.*, 21 (41) : 60-70.

Thoen D., Parent G., Lukungu T., 1973
L'usage des champignons dans le Haut-Shaba (République du Zaïre). *Bulletin trimestriel du Centre d'exécution de programmes sociaux et économiques*, 100 (101) : 69-85.

Tibuhwa D. D., 2011
Substrate specificity and phenology of macrofungi community at the university of Dar es Salaam main campus, Tanzania. *J. Appl. Biosci*., 46 (31) : 73-84.

Verbeken A., Walleyn R., 2010
Fungus Flora of Tropical Africa. Monograph of Lactarius in Tropical Africa. National Botanic Garden of Belgium, 161 p.

Walker A. R., 1931
Champignons comestibles de la Basse-Ngounié (Gabon). *Rev. Int. Bot. Appl. Agric. Trop.*, 11 : 240-247.

Walleyn R., Rammeloo J., 1994
The poisonous and useful fungi of Africa south of the Sahara. *Scripta Botanica Belgica*, 10 : 1-56.

Wang B., Qiu Y., 2006
Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16 (5) : 299-363.

White L., Edward A., 2000
Conservation en forêt pluviale africaine. Méthode de recherche. Wild Life Conservation Society, New York, 444 p.

World Bank., 2009
République démocratique du Congo. Cadre stratégique pour la préparation d'un programme de développement des Pygmées. Document de la Banque mondiale, rapport N° 51108-ZR.

Yorou S. N., De Kesel A., 2002
Connaissances ethnomycologiques des peuples Nagot du centre du Bénin (Afrique de l'Ouest). *Syst. Geogr. Pl.*, 71 (2) : 627-637.

Yorou S. N., De Kesel A., 2011
« Champignons supérieurs ». *In* Neuenschwander P., Sinsin B., Goergen G. (éd.) : *Protection de la nature en Afrique de l'Ouest. Une liste rouge pour le Bénin*. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan : 47-60.

Yorou S. N., De Kesel A., Codjia J. T. C., Sinsin, B., 2002
Biodiversité des champignons comestibles du Bénin. Proceedings of the Symposium-Workshop on Biodiversity in Benin. Abomey-Calavi to Nov. 18th 2002 : 231-240.

Yorou S. N., De Kesel A., Sinsin B., Codjia J. T. C., 2002
Diversité et productivité des champignons comestibles de la forêt classée de Wari Maro (Bénin). *Syst. Geogr. Pl.*, 71 (2) : 613-625.

Zanh G. G., Barima Y. S. S., Kouakou K. A., Sangne Y. C., 2016
Usages des produits forestiers non ligneux selon les communautés riveraines de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 4 (5) : 212-225.

Chapitre 18

Activités antifongiques et antibactériennes des extraits bruts du basidiocarpe et du sclérote du champignon macroscopique *Pleurotus tuber-regium*

Dominique Claude Mossebo
Université de Yaoundé 1, Cameroun

Blondo-Pascal Metsebing
Université de Yaoundé 1, Cameroun

Romuald Oba
Université de Yaoundé 1, Cameroun

Thierry Youmbi Fonkui
Université de Johannesburg, Afrique du Sud

Joseph Kasali Lumande
Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo

Marie-Claire Machouart
Université de Lorraine, France

Derek Tantoh Ndinteh
Université de Johannesburg, Afrique du Sud

Introduction

Les propriétés thérapeutiques des champignons sont utilisées depuis des millénaires par les populations de plusieurs régions du monde pour soigner de nombreuses pathologies humaines. En effet, selon de nombreux auteurs (Alves *et al*., 2012 ; Cao *et al*., 2012 ; Giavasis, 2014 ; Hobbs, 1995 ; Quang *et al*., 2006 ; Smith *et al*., 2002 ; Thawthong *et al*., 2014), les peuples d'Orient reconnaissaient, il y a des milliers d'années, les effets bénéfiques de nombreuses espèces comestibles et non comestibles de champignons sur la santé humaine. Plusieurs études scientifiques ont récemment montré que de nombreuses espèces de champignons contiennent des molécules dont les propriétés médicinales sont avérées. Ces champignons sont, entre autres, cardioprotecteurs, hépatoprotecteurs, antitumoraux, antidiabétiques, anti-inflammatoires, anti-infectieux, anti-VIH, antibactériens et/ou antifongiques et, pour certains, immunomodulateurs. Ces auteurs citent également de nombreuses espèces cumulant plusieurs de ces

propriétés médicinales. Ces informations peuvent être consultées en ligne sur des sites internet spécialisés : www.fungi.com/mycomed.html ; www.fungi.com ; www.gmushrooms.com/healthref.html.

De nos jours, malgré l'efficacité avérée des antibiotiques et des produits antifongiques de synthèse sur la plupart des infections microbiennes, on observe l'apparition de résistances microbiennes d'ampleur variable suivant les types d'infection. Plusieurs des auteurs cités *supra,* mais aussi beaucoup d'autres, ont investigué d'autres sources potentielles de nouvelles molécules plus efficaces, physiologiquement bénéfiques et non toxiques pour l'organisme humain (Elsayed *et al*., 2014 ; Josh et Janardhanan, 2000 ; Muszynska *et al.*, 2018 ; Nowakowski *et al*., 2021 ; Ragasa, 2018 ; Sen *et al.,* 2021 ; Wasser, 2017).

Environ 140 000 macromycètes (champignons macroscopiques) sont connus à ce jour, dont 10 % seulement (≈ 14 000 espèces) ont été décrits. Plus de 2 300 espèces sont comestibles ou à potentiel médicinal (Çaglarirmak, 2011 ; Maas *et al*., 2012 ; Ying *et al.,* 1987), mais très peu d'entre elles ont été étudiées à ce jour pour leur potentiel pharmacologique. En effet, les travaux de recherche en phytochimie ont été, jusqu'à présent, orientés essentiellement sur les plantes chlorophylliennes.

Les macromycètes tropicaux d'Afrique sont très diversifiés mais particulièrement peu étudiés, hormis quelques rares travaux scientifiques (Chelela *et al.,* 2014 ; Iwalokun *et al*., 2007 ; Tonjock et Mih, 2011 ; Waithaka *et al.*, 2017) ; plusieurs de ces espèces sont citées dans la pharmacopée traditionnelle africaine (Guissou *et al*., 2014 ; Oyetayo, 2011 ; Walleyn et Rammeloo, 1994 ; Yongabi, 2019).

L'essentiel des macromycètes tropicaux d'Afrique reste donc inexploré et constitue de fait un vaste potentiel à partir duquel de nouvelles molécules plus efficaces pourraient être identifiées et exploitées, permettant de résoudre, en partie, certaines des résistances évoquées précédemment. L'étude des propriétés antimicrobiennes des extraits bruts de *Pleurotus tuber-regium* (Rumph. ex Fr.) Singer, basidiomycète supérieur de la famille des Pleurotaceae, s'inscrit dans cette démarche. Cette espèce constitue un modèle intéressant à plusieurs égards : c'est l'une des rares espèces au monde poussant uniquement sur un certain type de substrat sous forme de sclérote-tubercule naturellement préfabriqué dans le sol. Ce substrat est précisément le sclérote qui se présente sous forme de tubercules d'igname ou de truffe (*Tuber aestivum* ou *Tuber uncinatum*). En effet, *Pleurotus tuber-regium* « préfabrique » lui-même ce sclérote dans le sol avant de pousser dessus. L'étude de sa composition (Ijeh *et al.*, 2009 ; Zoberi, 1979) a révélé la présence de constituants différents de ceux du basidiocarpe (chapeau et stipe) qu'il génère. Des études ethnomycologiques (Oyetayo, 2011 ; Walleyn et Rammeloo, 1994 ; Yongabi, 2019) signalent que l'espèce est utilisée dans certains pays d'Afrique pour traiter de nombreuses pathologies humaines. Certes, de rares études antérieures (Adebayo *et al.,* 2018 ; Metsebing *et al*., 2020 ; Mossebo *et al.,* 2020) ont été menées sur les propriétés antibactériennes de *Pleurotus tuber-regium*, mais

jamais sur les extraits de son sclérote. En effet, les tests cités précédemment ont été, pour certains, réalisés avec des espèces bactériennes différentes ou avec des extraits obtenus avec d'autres types de solvants que ceux utilisés pour cette étude. Plus spécifiquement et compte tenu de ce qui précède, cette étude a eu pour objectif de déterminer l'existence ou non de propriétés antibactériennes et antifongiques dans les extraits bruts à l'hexane et au chloroforme du basidiocarpe (chapeau avec stipe) de *Pleurotus tuber-regium*, d'une part, et de son sclérote, d'autre part, par la détermination et la comparaison des concentrations minimales inhibitrices

Matériels et méthodes

Matériels

Matériel fongique

Le matériel fongique est constitué de fragments de basidiocarpes et de sclérotes de *Pleurotus tuber-regium* prélevés sur un spécimen d'herbier collecté, séché, identifié et encodé dans l'herbier du laboratoire de mycologie de la faculté des Sciences de l'université de Yaoundé 1. Le carpophore (n° HUY1-DM563A) et le sclérote souterrain (n° HUY1-DM563B), qui est son substrat naturel, ont été récoltés le 10 avril 2017 en petite saison des pluies dans les environs de Yaoundé. Les fragments sélectionnés ont été nettoyés, réduits d'abord en de minuscules morceaux à l'aide d'un couteau ou d'un marteau, puis broyés à sec dans un robot électrique. La poudre obtenue a été ensuite conservée dans des sachets plastiques transparents préalablement étiquetés.

Souches de bactéries

Onze souches de bactéries fournies par la firme Sigma Aldrich (« South Africa branch ») ont été utilisées dans l'étude, dont cinq Gram+ – *Bacillus subtilis* (ATCC 19659), *Enterococcus faecalis* (ATCC 13047), *Staphylococcus epidermidis* (ATCC 14990), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Mycobacterium smegmatis* (ATCC 2155) – et six Gram- – *Enterobacter cloacae* (ATCC 13047), *Proteus vulgaris* (ATCC 6380), *Klebsiella oxytoca* (ATCC 8724), *Klebsiella aerogenes* (ATCC 13048), *Proteus mirabilis* (ATCC 7002), *Escherichia coli* (ATCC 25922).

Souches de champignons microscopiques

Trois souches de champignons pathogènes ou toxiques pour l'homme, fournies par la firme Sigma Aldrich, ont été utilisées : *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus ochraceus*.

Méthodes

Extraction des substances naturelles brutes

L'extraction a été réalisée suivant la méthode décrite par Mossebo *et al.* (2020) et Oba *et al.* (2020), en utilisant les mêmes quantités de poudre de carpophore et de son sclérote en égales proportions à deux solvants, l'hexane et le chloroforme.

Préparation de la suspension de bactéries

Une boucle d'inoculation[1] a été utilisée pour recouvrir la surface du bouillon nutritif (*nutrient broth*) utilisé comme milieu de culture des bactéries. Les *inocula* ont ensuite été obtenus à partir de cultures bactériennes mises en place sur ce bouillon et incubées à 37 °C pendant 12 à 16 h. L'*inoculum* de chaque espèce de bactérie a été ajusté à la concentration de 1×10^5 bactéries/ml selon le standard de Mc Farland (1907).

Préparation de la suspension de champignons pathogènes

Les spores de champignons pathogènes ont été cultivées sur milieu PDA (Peptone Dextrose Agar) jusqu'à sporulation. Vingt-quatre heures avant l'expérience de mesure d'inhibition, une goutte d'eau distillée a été déposée sur cette culture, puis pipetée et déposée sur un hématimètre (marque Neubauer) permettant le comptage. Les spores ont été ensuite diluées à la concentration de 1×10^5 spores/ml dans une solution de Ringer afin de bloquer temporairement leur germination. Cette suspension de spores a été préparée 24 h avant les tests et conservée au réfrigérateur.

Tests antibactérien et antifongique : détermination de la concentration minimale inhibitrice

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est la plus petite concentration de l'extrait qui inhibe la croissance du microbe (bactérie ou champignon). La CMI de l'extrait brut du carpophore ou du sclérote a été déterminée en utilisant la méthode de microdilution (Eloff, 1998) sur le milieu de culture « Nutrient Broth » pour les bactéries et sur du RPMI 1640 pour les champignons microscopiques pathogènes ou toxiques.

Trois réplicats de grilles de test de 96 puits (fig. 1), chacune spécifique des bactéries ou champignon à tester, ont été utilisées de la façon suivante (Maragesi *et al.* 2013) :

– 100 µl de milieu de culture ont été introduits dans chacun des 96 puits de la grille de test ;

– sur la ligne B, colonnes 2 à 11 de la grille, ajout de 100 µl d'extrait de carpophore ou de sclérote préalablement dilué dans 4 ml de diméthylsulfoxyde (DMSO, 25 mg/ml) (fig. 1A) ;

1 La surface du bouillon nutritif n'est pas entièrement recouverte de sorte que la surface peut être inoculée en y déposant l'inoculum sous forme de cercle ou de boucle.

– sur les lignes C à G : une série de dilutions a été réalisée successivement par colonne. Ainsi, pour la ligne C, 100 µl de la ligne B ont été introduits. La suspension de la ligne C a été mélangée et 100 µl pipetés et introduits à la ligne D, et ainsi de suite jusqu'à la ligne G. Les 100 µl pipetés dans les puits de la ligne G ont été jetés. La concentration en extrait de chaque ligne est ainsi la moitié de celle de la ligne précédente. Les concentrations obtenues sont respectivement pour les lignes B à G : 12,5 mg/ml (B) ; 6,25 mg/ml (C) ; 3,13 mg/ml (D) ; 1,56 mg/ml (E) ; 0,78 mg/mL (F) ; 0,39 mg/ml (G) et font référence pour les mesures comme proxy de la concentration en extrait actif ;

– sur les lignes A et H (A1 à A12 et H1 à H12) et les colonnes 1 et 12 (1A à 1H et 12A à 12H) : les puits ont servi au contrôle de chaque espèce puisqu'elles ne contiennent que le milieu de culture et le DMSO ;

– 100 µl de suspension de chaque bactérie ou de spores des champignons microscopiques à tester ont ensuite été ajoutés dans les puits des lignes et colonnes ayant reçu l'extrait brut, donnant ainsi un volume total de 200 µl dans chaque puits de la grille (fig. 1A) ;

– la grille a ensuite été incubée à 37 ºC pendant 24 h pour les bactéries et pendant 3 à 4 jours pour les champignons pathogènes ;

– afin de révéler l'effet bactéricide ou fongique de *Pleurotus tuber-regium* dans les puits, 10 µl de 2-(4-iodophényl)-3-(4-nitrophenyl)-5-phenyltetrazolium chloride (INT) préparés à la concentration de 2 mg/ml de DMSO ont été ajoutés dans tous les puits de la grille (fig. 1B), et le tout a été incubé pendant 1 à 5 h pour les bactéries et un à deux (parfois sept) jours pour les champignons microscopiques (Ishaku *et al.,* 2017 ; Praptiwi *et al.,* 2018 ; Fonkui *et al.,* 2018) ;

– les grilles ont ensuite été retirées de l'incubateur et observées. Les puits contenant encore des bactéries ou des champignons virent au rose et ceux ne contenant que des bactéries ou des champignons inactifs restent bleus ou gardent la couleur de l'extrait brut utilisé (fig. 1C).

Figure 1

Tests antibactérien et antifongique sur la grille à 96 puits.

A. Grille montrant des puits contenant des extraits bruts à diverses concentrations et suspensions de bactéries ou de champignons microscopiques.
B. Grille montrant des puits ayant reçu par pipette des gouttes du colorant INT.
C. Grille prête pour la lecture des valeurs CMI, après réaction du colorant INT avec les suspensions de micro-organismes dans les puits.
Puits servant de témoins positifs : A1 à A12 et H1 à H12 ;
puits servant de témoins négatifs : 1A à 1H et 12A à 12H.
© B. P. Metsebing.

Analyse des données

L'analyse visuelle des grilles a permis de déterminer les CMI. La plus petite concentration de l'extrait brut qui inhibe la croissance des bactéries et des champignons pathogènes, après addition du colorant et après incubation, est celle présente dans le premier puits qui ne devient pas rose (fig. 1C).

Résultats

Les CMI des extraits bruts du basidiocarpe et du sclérote de *Pleurotus tuber-regium* sur les bactéries et les champignons pathogènes testés sont présentées respectivement dans les tableaux 1 et 2. Les données montrent que les deux extraits présentent une activité inhibitrice sur les bactéries et les champignons pathogènes. En effet, la CMI des extraits du basidiocarpe sur *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia cloacae*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella aerogenes* et *Proteus mirabilis* est de 12,5 mg/ml ; elle est de 6,25 mg/ml pour *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Mycobacterium smegmatis* et pour toutes les souches de champignons pathogènes testées, notamment *Candida albicans*, *Aspergillus fumigetus* et *Aspergillus ochraceus*.

Concernant les extraits du sclérote, la CMI est de 12,5 mg/ml pour *Bacillus subtilis* et *Klebsiella aerogenes* et de 6,25 mg/ml sur *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Enterobacter cloacae*, *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium smegmatis*, *Proteus vulgaris*, *Klebsiella oxytoca*, *Proteus mirabilis* et *Escherichia coli.* Elle est de 3,13 mg/ml pour les trois espèces de champignons pathogènes.

Les CMI de l'extrait brut du basidiocarpe et du sclérote sur les bactéries varient entre 6,25 et 12,5 mg/ml. Elle est de 6,25 mg/ml sur tous les champignons pathogènes pour l'extrait brut du basidiocarpe et de 3,13 mg/ml pour l'extrait brut du sclérote.

En général, l'activité antimicrobienne des extraits bruts de *Pleurotus tuber-regium,* qu'il s'agisse du basidiocarpe ou de son sclérote, est plus forte sur les champignons pathogènes que sur les bactéries (tabl. 1 et 2, fig. 2 et 3). Les extraits bruts du sclérote montrent une activité antimicrobienne plus forte que ceux du basidiocarpe, autant sur les bactéries (à l'exception de *B. subtilis* et *K. aerogenes*) que sur les trois espèces de champignons pathogènes.

Tableau 1
Concentration minimale inhibitrice des extraits bruts du basidiocarpe et du sclérote de Pleurotus tuber-regium *sur les bactéries pathogènes pour l'homme (moyennes des trois réplicats).*

	Concentration minimale inhibitrice (mg/ml)										
	Bactéries Gram+					Bactéries Gram-					
	BS	EF	SE	SA	MS	ECL	PV	KO	KA	PM	EC
Basidiocarpe	12,5	12,5	12,5	6,25	6,25	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	6,25
Sclérote	12,5	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	12,5	6,25	6,25

BS : *Bacillus subtilis*. EF : *Enterococcus faecalis*. SE : *Staphylococcus epidermidis*. SA : *Staphylococcus aureus*.
MS : *Mycobacterium smegmatis*. ECL : *Enterobacter cloacae*. PV : *Proteus vulgaris*. KO : *Klebsiella oxytoca*.
KA : *Klebsiella aerogenes*. PM : *Proteus mirabilis*. EC : *Escherichia coli*.

Tableau 2
Concentration minimale inhibitrice des extraits bruts du basidiocarpe et du sclérote de Pleurotus tuber-regium *sur les champignons pathogènes pour l'homme (moyennes des trois réplicats).*

	Concentration minimale inhibitrice (mg/ml)		
	Champignons pathogènes		
	Candida albicans	*Aspergillus fumigatus*	*Aspergillus ochraceus*
Basidiocarpe	6,25	6,25	6,25
Sclérote	3,13	3,13	3,13

Discussion

Seules quelques rares espèces de macromycètes tropicaux d'Afrique ont déjà fait l'objet de tests antibactériens et antifongiques et de détermination de CMI par le passé (Waithaka *et al.,* 2017 ; Chelela *et al.*, 2014). La grande majorité des macromycètes tropicaux d'Afrique reste encore à investiguer. Les valeurs des CMI déterminées par nos travaux sont proches de celles obtenues par des travaux similaires réalisés avec des extraits bruts de champignons comestibles et/ou toxiques (Waithaka *et al.*, 2017 ; Chelela *et al.*, 2014 ; Subrata *et al.,* 2012 ; Hassan *et al.,* 2011).

Selon Algiannis *et al.* (2001), l'efficacité de l'activité antimicrobienne des extraits bruts de macromycètes peut être évaluée par les valeurs des CMI mesurées. Cet auteur affirme en effet que les espèces dont la CMI est inférieure à 0,5 mg/ml sont de puissants inhibiteurs, celles dont la CMI est comprise entre 0,6 et 1,5 mg/ml sont des inhibiteurs modérés, et celles dont la CMI est supérieure à 1,6 mg/ml sont de faibles inhibiteurs. En comparant nos résultats avec ceux de cette étude, nous pouvons affirmer que, en général, les extraits bruts du

basidiocarpe et du sclérote de *Pleurotus tuber-regium* sont de faibles inhibiteurs avec, cependant, une meilleure sensibilité vis-à-vis des champignons pathogènes que des bactéries testées.

Dans une étude similaire sur les activités antibactériennes et antifongiques de quelques espèces de champignons sauvages, dans laquelle la CMI a servi de valeur de comparaison, Chelela *et al.* (2014) ont évalué l'activité des extraits bruts de ces champignons en utilisant respectivement la gentamycine et le fluconazole comme témoins positifs pour les activités antibactériennes et antifongiques. Les valeurs de CMI enregistrées par ces auteurs varient de 0,0015 à 0,0061 mg/ml pour la gentamycine, selon les espèces de bactéries testées, et de 0,003 à 0,006 mg/ml pour le fluconazole selon les espèces de champignons. Selon l'échelle de Algiannis *et al.* (2001), ces valeurs de CMI montrent que ces produits synthétiques antibactériens et antifongiques sont des puissants inhibiteurs comparés aux extraits du carpophore et du sclérote de *Pleurotus tuber-regium* (tabl. 1 et 2 ; fig. 2 et 3). Toutefois, les valeurs des CMI des extraits des carpophores et sclérotes de *Pleurotus tuber-regium* pourraient être améliorées grâce à d'autres solvants et en variant les concentrations des extraits.

Figure 2

Histogramme et courbe comparant les concentrations minimales d'inhibition des extraits bruts du basidiocarpe (O) et du sclérote (Δ) de Pleurotus tuber-regium *sur onze souches de bactéries pathogènes pour l'homme.*

Les noms des onze souches de bactéries testées (BS, EF, SE, SA, MS, ECL, PV, KO, KA, PM, EC) sont indiqués en légende sous le tableau 2.

Figure 3

Histogramme et courbe comparant les concentrations minimales d'inhibition des extraits bruts du basidiocarpe (O) et du sclérote (Δ) de Pleurotus tuber-regium *sur trois souches de champignons pathogènes pour l'homme.*

Pleurotus tuber-regium est jusqu'à présent utilisé dans la pharmacopée traditionnelle africaine pour traiter d'autres pathologies telles que les maux de tête, la fièvre, les douleurs d'estomac, la constipation, l'asthme, les furoncles, les palpitations cardiaques, l'hypertension artérielle, etc. (Oyetayo, 2011 ; Walleyn et Rammeloo, 1994). Nos résultats démontrent que cette espèce utilisée à dose suffisante présente aussi des propriétés antibactériennes et antifongiques. Badalyan *et al* (2008) et Adebayo *et al.* (2018) avaient déjà démontré l'effet antagoniste des extraits des carpophores de *Pleurotus tuber-regium* sur une autre sélection de champignons pathogènes, mais le sclérote n'avait pas été testé. Mossebo *et al*. 2020 ont obtenu des valeurs de CMI très proches lors de tests réalisés sur *Pleurotus tuber-regium* en comparaison avec celles obtenues sur d'autres macromycètes, ce qui conforte les résultats obtenus dans cette étude. Notre étude constitue de ce fait une importante contribution à ce vaste champ de recherche, encore très peu exploré, sur les propriétés médicinales des champignons macroscopiques d'Afrique tropicale.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que *Pleurotus tuber-regium* contient, autant dans son basidiocarpe que dans son sclérote, des substances naturelles aux propriétés antibactériennes et antifongiques. Toutefois, son activité antifongique est plus importante que son activité antibactérienne ; une activité plus élevée est également constatée avec les extraits du sclérote par rapport à ceux du basidiocarpe. Sur la base de ces résultats préliminaires prometteurs, des études ultérieures plus approfondies pourraient être envisagées afin d'extraire et d'identifier avec précision les composants actifs des extraits bruts. La fabrication de tels produits naturels ou pharmaceutiques pourrait aider à soigner plus efficacement certains types d'infections bactériennes et surtout fongiques, comme les mycoses ou mycotoxicoses à *Candida albicans,* ou encore les aspergilloses à *Aspergillus fumigatus* ou *ochraceus*.

Remerciements

Nous remercions le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) et sa secrétaire exécutive, madame Stéphanie Ardila-Chauvet (Institut de recherche pour le développement, IRD, Montpellier), ainsi que l'IRD-Cameroun, pour avoir financé ces travaux ainsi que le séjour de recherche de deux des co-auteurs à l'université de Johannesburg en Afrique du Sud, où la plus grande partie de ces travaux a été effectuée (projet AAP3-5).

Nous remercions également le professeur Penny Govender, chef du département de Chimie appliquée de l'université de Johannesburg, pour son accueil et la mise à notre disposition de toutes les facilités pour réaliser ces travaux dans différents laboratoires de son département.

Références bibliographiques

Adebayo E. A, Martinez-Carrera D., Morales P., SOBAL M., Escudero H., Meneses M. E., Avila-Nava A., Castillo I., Bonilla M., 2018
Comparative study of antioxidant and antibacterial properties of the edible mushrooms *Pleurotus levis, P. ostreatus, P. pulmonarius* and *P. tuber-regium*. *Int. J. Food. Sci. Technol.,* 53 (5) : 1316-1330. https://doi.org/10.1111/ijfs.13712

Algiannis N., Kalpotzakis E., Mitaku S., Chinou I. B., 2001
Composition and antimicrobial activity of essential oils of two *Origanum* species. *J. Agric. Food Chem*., 40 : 4168-4170.

Alves M. J., Ferreira I. C., Dias J., Teixera V., Martins A., Pintado M., 2012
A review on antimicrobial activity of mushroom (Basidiomycetes) extracts and isolated compounds. *Plant. Med*., 78 : 1707-1718.

Badalyan S. M., Isikhuemhen O. S., Gharibyan N. G., 2008
Antagonistic/antifungal activity of *Pleurotus tuber-regium* (Fr.) Singer against selected fungal pathogens. *Int. J. Med. Mushrooms.,* 10 (2) : 155-1562. https://doi.org/10.1615/Int J Med Mushr.v10.i2.60

Çaglarirmak N., 2011
Edible mushrooms: an alternative food item, mush biology and mushroom products, *In* : *Proceedings of the 7th international conference on mushroom biology and mushroom products, Arcachon, France* : 553-559.

Cao Y., Wu S. H., Dai Y. C., 2012
Species clarification of the prize medicinal *Ganoderma* mushroom "Lingzhi". *Fungal Diversity,* 56 : 49-62.

Chelela B. L., Chacha M., Matemu A., 2014
Antibacterial and antifungal activities of selected wild mushrooms from Southern Highlands of Tanzania. *Am. J. Res. Com.,* 2 (9) : 58-68.

Eloff J. N., 1998
A sensitive and quick microplate method to determine the minimal inhibitory concentration of plant extracts for bacteria. *Planta Med.,* 64 : 711-713.

Elsayed A. E., El Enshasy H., Wadaan M. A. M., Aziz R., 2014
Mushrooms: a potential natural source of anti-inflammatory compounds for medical applications. *Mediators of Inflammation*, Article ID 805841. http://dx.doi.org/10.1155/2014/805841

Fonkui T. Y., Ikhile I. M., Munganza M. F., Fotsing D. C. M., Arderne C., Noundou S. X., Krause M. W. R., Ndinteh T. D., Njobeh B. P., 2018
Synthesis, characterization and biological application of novel schiff bases of 2-(trifluoromethoxy) alanine. *J. Chin. Pharm. Sci.,* 27 (5) : 307-323.

Giavasis I., 2014
Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals. *Cur. Opi. Biotech.,* 26 : 162-173.

Guissou K. L. M., Sanon E., Sankara P. H., Guinko S., 2014
La mycothérapie au Burkina Faso : état des lieux et perspectives. *Journal of Applied Biosciences*, 79 : 6896-6908.

Hassan I. A. F., Zubaida K. C., Khan I., Saleh A. A., 2011
Comparative study of antibacterial activity of wood-decay fungi and antibiotics. *J. Bangladesh Pharm. Soc.,* 6 : 14-17.

Hobbs C., 1995
Medicinal mushrooms: an exploration of tradition, healing and culture. Botanica Press, Santa Cruz, USA, 251 p.

Ijeh I. I., Okwujiako I. A., Nwosu P. C., Nnodim H. I., 2009
Phytochemical composition of *Pleurotus tuber-regium* and effect of its dietary incorporation on body/organ weights and serum triacylglycerols in albino mice. *Journal of Medicinal Plant. Research*, 3 (11) : 939-943.

Ishaku L. E., Botha F. S., Mcgway L. J., Eloff J. N., 2017
The antibacterial activity of extracts of nine plant species with good activity against *Escherichia coli* against five other bacteria and cytotoxicity of extract. *BMC Compl. Alter. Med.,* 17 (133) : 1-10. DOI : 10.1186/12906-017-1645-z

Iwalokun B. A., Otunba A. A., Olukoya D. K., 2007
Comparative phytotechnical evaluation, antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus*. *African. Journal of Biotechnology*, 5 (15) : 1732-1739.

Josh N., Janardhanan K. K., 2000
Antioxidant and antitumourous activity of *Pleurotus florida*. *Curr. Sci.*, 79 : 941-943.

Maragesi S. M., Nyamwisenda N. T., Mwangomo D., Kidukuli A., 2013
In vitro antimicrobial activity and determination of essential metal and ash value contents of *Trichodesma zeylanicum*, *Int. J. Res. Pharm.,* 2 : 417-424.

Maass S. F., Aguilar C. B., Gabriel Y., 2012
Hongos silvestres comestibles: un recurso forestral no maderable del Nevado de Toluca. Ediciones y Graficos Eon, México, 344 p.

Mc Farland J., 1907
The nephelometer: an instrument for estimating the numbers of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index for vaccines. *J. Am. Med. Assoc*., 49 : 1176-1178.

Metsebing B.-P., Oba R., Mossebo D. C., Fonkui T. Y., Tsigaing T. F., Djuidje Fotsing M. C. L., Mungoh Tata C., Ndinteh T. D., 2020
Comparative assessment of antifungal and antibacterial activities of crude extracts of the king tuber culinary-medicinal mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (Agaricomycetes) from Cameroon. *International Journal of Medicinal Mushrooms,* 22 (4) : 359-356. https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2020034178

Mossebo D. C., Metsebing B.-P., Oba R., Tsigaing T. F., Ryvarden L., Fonkui T. Y., Mungoh Tata C., Ndinteh T. D., 2020
Comparative evaluation of antifungal and antibacterial activities of crude extracts of *Pleurotus sajor-caju*, *Pleurotus tuber-regium* and *Lentinus squarrosulus* (Basidiomycota, Pleurotaceae, Lentinaceae) from Cameroon. *European Journal of Biology and Biotechnology,* 1 (5) : 1-7. DOI : http://dx.doi.org/10.24018/ejbio.2020.1.5.97

Muszyńska B., Grzywacz-Kisielewska A., Katarzynakała, Joannagdula-Argasińsk A., 2018
Anti-inflammatory properties of edible mushrooms: a review. *Food chemistry,* 243 : 373-381. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.149.

Nowakowski P., Markiewicz-Zukowska R., Gromkowska-Kepka K., Naliwajko S. K., Moskwa J., Bielecka J., Grabia M., Borawska M., Socha K., 2021
Mushrooms as potential therapeutic agents in the treatment of cancer: evaluation of anti-glioma effects of *Coprinus comatus*, *Cantharellus cibarius*, *Lycoperdon perlatum* and *Lactarius deliciosus* extracts. *Biomedicine and Pharmacotherapy,* 133 : 1-14. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.111090.

Oba R., Metsebing B.-P., Fonkui T. Y., Mossebo D. C., Tsigaing T. F., Mungoh T. C., Ndinteh T. D., 2020
Evaluation of the antifungal and antibacterial activities of crude extracts of three species of *Rigidoporus* (Basidiomycota, Polyporaceae) from Cameroon. *The Journal of Phytopharmacology (Pharmacognosy and phytomedicine Research),* 9 (4) : 246-251. DOI : http://dx.doi: 10.31254/phyto.2020.9406.

Oyetayo O. V., 2011
Medicinal uses of mushrooms in Nigeria: towards full and sustainable exploitation. *Afr. J. Trad. Compl. Alter. Med.,* 8 (3) : 267-274.

Praptiwi M. Raunsai M., Wulansari D., Fathoni A., Agusta A., 2018
Antibacterial and antioxidant activities of endiphytic fungi extracts of medicinal plants from Central Sulawesi. *J. Appl. Pharm. Sci.,* 8 (8) : 69-74. DOI : http://dx.doi: 10.7324/JAPS.2018.8811

Quang D. N., Hashimoto T., Asakawa Y., 2006
Inedible mushrooms: a good source of biologically active substances. *Chem. Rec.*, 6 : 79-99.

Ragasa C. Y., 2018
Anticancer compounds from nine commercially grown and wild Philippine mushrooms. *Manila Journal of Science,* 11 : 42-57.

Sen I. K., Chakraborty I., Mondal S., Bar H., Sunil, Bhanja K., Mandal S., Nath Maity G., 2021
Biologically active polysaccharide from edible mushrooms: a review. *International Journal of Biological Macromolecules,* 172 (1) : 408-417. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.081

Smith J. E., Rowan N., Sullivan R., 2002
Medicinal mushrooms: their therapeutic properties and current medical usage with special emphasis on cancer treatments. Cancer Research UK, London, 256 p.

Subrata G., Gunjan B., Prakash P., Subhash C. M., Krishnendu A., 2012
Antimicrobial activities of basidiocarps of wild edible mushrooms of west Bengal, India. *Int. J. Pharm. Tech Res.,* 4 (4) : 1554-1560.

Thawthong A., Karunarathna S. C., Thongklang N., Chukeatirote E., Kakumyan P., Chamyuang S., Rizal L. M., Mortimer P. E., Xu J., Callac P., Hyde K. D., 2014
Discovering and domestication of wild tropical cultivable mushrooms. *Chiang Mai J. Sci*., 41 : 731-764.

Tonjock R. K, Afui Mih, 2011
Secondary metabolites of oil palm isolates of *Ganoderma zonatum* Murill. from Cameroon and their cytotoxicity against five human tumour cell line. *African. Journal of Biotechnology,* 10 (42) : 8440-8447.

Waithaka P. N., Gathuru A. E. M., Githaiga B. M., Onkoba K. M., 2017
Antimicrobial activity of mushroom (*Agaricus bisporus*) and fungal (*Trametes gibbosa*) extracts from mushrooms and fungi of Egerton Main Campus, Njoro Kenya. *Journal of Biomedical Science,* 6 (3) : 1-6. DOI : 10.4172/2254-609X.100063

Walleyn R., Rammeloo J., 1994
The poisonous and useful fungi of Africa south of Sahara: a literature survey. *Scripta Botanica Belgica*, 10 : 1-56.

Wasser S. P., 2017
Medicinal mushrooms in human clinical studies. Part I. Anticancer, oncoimmunological, and immunomodulatory activities: a review. *International Journal of Medicinal Mushrooms,* 19 (4) : 279-317. https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i4.10

Ying J., Mao X., Ma Q., Zong Y., Wen H., 1987
Icones of medicinal fungi from China. Science Press, Beijing, China, 575 p.

Yongabi K. A., 2019
« African medicinal mushrooms: source of biopharmaceuticals for the treatment of noncommunicable diseases. A review ». *In* Agrawal D., Dhanasekaran M. (eds) : *Medicinal mushrooms*. Springer, Singapore : 335-347. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6382-5_13

Zoberi M. H., 1979
Some edible mushrooms from the tropics. *Mushrooms science,* 10 (2) : 519-536.

Sites internet

- www.fungi.com/mycomed.html
- www.fungi.com
- www.gmushrooms.com/healthref.html

Autres usages

Chapitre 19

Diversité des espèces d'arbres utilisées dans les métiers du bois

Cas de la fabrication des mortiers et pilons au Centre-Bénin

Richard Menson Somanin
Université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey, Bénin

Eben-Ezer B. K. Ewedje
Université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey, Bénin

Ismaël Akossibè Batcho
Université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey, Bénin

Introduction

Les forêts tropicales représentent 60 % des forêts du monde (FAO, 2005) ; elles jouent un rôle crucial dans la fixation et le stockage du carbone et l'atténuation du changement climatique (FAO, 2020). Les besoins croissants des populations en ressources biologiques en général et en produits forestiers non ligneux en particulier, les feux de brousse et la sécheresse provoquent une dégradation de plus en plus marquée de ces habitats et la disparition des espèces végétales à fortes potentialités génétiques et socio-économiques (Assongba, 2014 ; Djego *et al.,* 2011). L'homme a toujours utilisé différentes espèces végétales de son environnement à des fins médicinales, d'alimentation, culturelles ou artisanales, énergétiques (bois de chauffe, charbon), de construction, etc. (Mutamba, 2007 ; Ake-Assi *et al.,* 2010).

Le Bénin se situe dans le Dahomey Gap, un couloir sec de végétation où la savane s'étend jusqu'à la côte. Aussi, les ressources forestières de ce pays sont faibles et, de surcroît, disparaissent avec un taux de déforestation de 50 000 ha/

an (FAO, 2020). Outre les utilisations citées précédemment, les arbres des forêts béninoises sont également utilisés par les populations rurales pour la fabrication des mortiers et des pilons (Houetchegnon, 2016). Les artisans qui fabriquent ces outils en tirent des revenus substantiels nécessaires à leurs besoins. Cependant, dans le contexte actuel d'épuisement et de raréfaction des ressources végétales locales, se pose le défi de la gestion durable de ces ressources au profit de leurs utilisateurs d'aujourd'hui et de demain. Les plantes utilisées pour la fabrication des mortiers et des pilons sont peu connues et les connaissances traditionnelles sont ainsi importantes pour leur conservation. Cette étude vise à faire l'état des lieux de la diversité des espèces végétales d'intérêt pour la fabrication des mortiers et pilons au Centre-Bénin. Ses objectifs spécifiques sont (1) d'inventorier les espèces d'arbres utilisées et établir les relations ethnies/espèces et (2) d'évaluer la disponibilité en bois desdites espèces dans la végétation.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

Le centre du Bénin couvre les départements du Zou et des Collines. Deux types de climats règnent dans cette zone : le climat soudano-guinéen vers le nord et le climat de transition, entre climat subéquatorial et climat soudano-guinéen, vers le sud, alternant deux saisons de pluies avec deux saisons sèches. La moyenne pluviométrique annuelle peut atteindre 1 200 mm dans le département du Zou et 1 481 mm dans le département des Collines. La végétation comprend des forêts denses humides semi-décidues, des forêts marécageuses, des forêts inondables, des plantations, des jachères et des champs (Loko, 2013), ainsi que des palmeraies, des savanes graminéennes et quelques forêts classées et forêts sacrées (Insae, 2016).

Collecte des données

Enquête ethnobotanique

Une enquête semi-structurée a été menée dans 30 villages choisis de façon raisonnée en fonction de la présence de l'activité de fabrication des mortiers et pilons.

Les fabricants de mortiers et de pilons étant rares, voire même inexistants dans certains villages de la zone d'étude, il a été difficile de les identifier au sein de la population. Aussi, la méthode dite de « boule de neige » de Goodman (1961) a été choisie comme la plus adaptée pour les identifier. Cette méthode, non probabiliste, consiste à former une population de façon qu'un individu x déjà enquêté fournisse des informations permettant d'atteindre un autre individu $x + 1$ (Wilhelm, 2014). Ainsi, 84 fabricants de mortiers et/ou de pilons ont été

identifiés et questionnés. La détermination des noms scientifiques des espèces d'arbres utilisées a été faite à l'aide de la *Flore analytique du Bénin* (Akoegninou *et al.,* 2006) et du fascicule *Les nouveaux ordres des angiospermes* (Akoegninou *et al.,* 2011). Des herbiers ont été également réalisés pour confirmer le nom desdites espèces à l'herbier national du Bénin. Afin de déterminer les espèces les plus connues par les populations, la fréquence de citation (FC) a été calculée pour chacune d'entre elles comme suit :

$$FC = n_i / N$$

avec n_i, le nombre de personnes ayant cité l'espèce *i,* et *N*, l'effectif total de personnes enquêtées.

Inventaire floristique et forestier

Deux forêts ont été inventoriées. Il s'agit de la forêt communautaire de Gbadagba dans le département du Zou, vers le sud, et de la forêt communautaire de Fita dans le département des Collines, vers le nord de la zone d'étude. Ces forêts, proches des localités où l'activité de fabrication est la plus forte, ont été choisies parce que les fabricants ont témoigné s'y rendre le plus souvent pour s'approvisionner en bois.

Des placettes ont été posées dans ces deux forêts selon le dispositif suivant (fig. 1) en fonction du changement de la physionomie de la végétation : une grande placette circulaire de 18 m de rayon pour évaluer le peuplement principal (ligneux vivants, Dhp ≥ 10,0 cm, Dhp étant le diamètre à hauteur de poitrine),

Figure 1
Dispositif d'échantillonnage.
D'après IFN-PBF2 (2007).

avec, en son centre, une placette de 6 m de rayon pour le sous-bois (ligneux vivants, 3 cm ≤ Dhp < 10 cm et h ≥ 1,30 m, h étant la hauteur de l'individu), ainsi qu'une grappe de quatre petites placettes de 3 m de rayon pour la régénération (ligneux vivants, Dhp < 3,0 cm et h ≥ 1,30 m) (IFN-PBF2, 2007). La formule utilisée pour calculer le nombre minimal de placettes à poser dans chacune des forêts ciblées est celle de Dagnelie (1998) :

$$n = [t_{i-\alpha/2} \times (Cv/d)]^2$$

avec *n,* le nombre de placettes, *Cv,* le coefficient de variation du diamètre des arbres, d, la marge d'erreur d'estimation (d = 8 %), $t_{i-\alpha/2,}$ la valeur de la statistique t de la distribution de Student pour un risque alpha de 0,05 ($t_{i-\alpha/2} \approx 2$).

Vingt-neuf placettes circulaires de 18 m de rayon telles que décrites ci-dessus, ont été ainsi délimitées dans la forêt communautaire de Fita et de 32 dans celle de Gbadagba.

Analyse des données

Enquête ethnobotanique

La fréquence de citation de chaque espèce a été calculée à l'aide de la statistique descriptive. Les résultats obtenus ont permis d'établir une liste par zone des espèces d'intérêt pour la fabrication des mortiers et pillons. Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été faite afin de comprendre la relation ethnies/espèces de la zone d'étude à l'aide du logiciel R version 3.5.1 (R Core Team, 2018).

Inventaire floristique et forestier

Les données collectées dans les deux forêts ont permis d'évaluer la disponibilité des espèces dans la zone d'étude à travers le calcul des paramètres suivants.

– *La densité des peuplements N* (arbres/ha) : il s'agit du nombre de pieds d'une espèce inventoriée à l'hectare. Elle est calculée en utilisant la formule :

$$N = n/s$$

avec *n*, le nombre de pieds recensés sur une superficie *s* donnée (ici s = 1 ha).

– *La surface terrière G* est déterminée par la formule suivante :

$$G = \sum_{i=1}^{n} \pi d_i^2 / 4 \quad \text{ou} \quad G = \sum_{i=1}^{n} c_i^2 / 4\pi$$

avec *G* la surface terrière des arbres de la placette considérée (m²/ha), *di* le diamètre (m) à 1,30 m du sol de l'arbre *i* et *ci* la circonférence (m) à 1,30 m du sol de l'arbre *i*.

– *Le diamètre Dg* de l'arbre de surface terrière moyenne est obtenu par la formule suivante :

$$Dg = \sqrt{\frac{\sum di^2}{n}}$$

avec *di* le diamètre en cm de l'arbre *i* et *n* le nombre d'arbres dans la placette considérée.

– *L'indice de diversité de Shannon (H') :* il donne une mesure de la biodiversité en tant que quantité d'informations (Marcon et Morneau, 2006) ; cet indice mesure l'incertitude quant à l'appartenance à une espèce donnée d'un individu pris au hasard dans l'échantillon. Il varie de 0 (une seule espèce présente) à log2 S (toutes les espèces présentes ont une même abondance) (Tiébré *et al.,* 2016). En considérant *N* l'effectif des *S* espèces considérées, *ni* l'effectif des individus d'une espèce *i* et *Pi* (ni/N) l'abondance relative de l'espèce *i*, l'indice de Shannon s'exprime comme suit :

$$H' = Pi \times \log_2(Pi)$$

– *L'équitabilité E :* cet indice renseigne sur la répartition des effectifs entre les différentes espèces d'un peuplement. Ainsi, le calcul de l'indice de diversité spécifique doit toujours s'accompagner de celui de l'équitabilité, car deux peuplements à physionomie différente peuvent avoir la même diversité (Tiébré *et al.,* 2016). L'indice d'équitabilité se calcule selon la formule mathématique suivante :

$$E = H'/\log_2 S$$

– *Le coefficient de similitude de Sorensen Cs* est utilisé pour mesurer le degré de ressemblance floristique entre les deux forêts inventoriées. Il est calculé selon la formule suivante (Gone Bi *et al*., 2013) :

$$Cs = [(2C/(A + B))*100]$$

avec *A* qui désigne le nombre d'espèces utilitaires présentes dans la forêt communautaire de Fita, *B* le nombre dans la forêt de Gbadagba et *C* le nombre d'espèces communes à ces deux forêts.

Résultats

Diversité des espèces utilisées

Ces travaux ont permis de recenser 24 espèces végétales dont les plus fréquentes sont, par ordre décroissant, *Prosopis africana*, *Vitellaria paradoxa, Terminalia glaucescens*, *Pterocarpus erinaceus* et *Azadirachta indica* (tabl. 1). Le nombre d'espèces citées par personne interviewée varie de 1 à 11 pour les mortiers, avec une moyenne de 5 ± 2, et de 1 à 10 pour les pilons avec une moyenne de 5 ± 1. Les 24 espèces appartiennent majoritairement à douze familles. Les Fabaceae sont plus représentées (avec neuf espèces, soit 38 % de l'effectif total des espèces recensées), suivies des Meliaceae (avec trois espèces, soit 13 % de cet effectif), des Combretaceae et des Sapotaceae (avec deux espèces pour chaque famille), des Ebenaceae, Euphorbiaceae, Moraceae, Myrtaceae, Ochnaceae, Rutaceae, Verbenaceae et Anacardiaceae (représentée chacune par une espèce). Deux espèces recensées servent exclusivement à la fabrication de pilons, dix exclusivement à la fabrication de mortiers et les autres (douze espèces) servent pour les deux (tabl. 1).

Tableau 1
Liste alphabétique des 24 espèces végétales servant à la fabrication des mortiers et pilons au Centre-Bénin.

N°	Espèce végétale	Famille	Statut au Bénin	Usage*	FC** (%)
1	*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.	Fabaceae	-	M	9,52
2	*Afzelia africana* Smith ex Pers.	Fabaceae	En danger	M	20,24
3	*Anogeissus leiocarpus* (D. C.) Gull. & Perr.	Combretaceae	-	M, P	7,14
4	*Azadirachta indica* A. Juss.	Meliaceae	-	M, P	44,05
5	*Bridelia ferruginea* Benth.	Euphorbiaceae	-	P	3,57
6	*Burkea africana* Hook.	Fabaceae	-	M, P	29,76
7	*Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel	Fabaceae	-	M	13,10
8	*Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. D. C.	Ebenaceae	-	M, P	5,95
9	*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.	Myrtaceae	-	M	15,48
10	*Gmelina arborea* Roxb.	Verbenaceae	-	M	1,19
11	*Isoberlinia doka* Craib & Stapf.	Fabaceae	-	M	4,76
12	*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.	Meliaceae	En danger	M, P	11,90
13	*Lophira lanceolata* Tiegh. ex Keay	Ochnaceae	-	M, P	4,76
14	*Mangifera indica* L.	Anacardiaceae	-	M	1,19
15	*Manilkara multinervis* (Baker) Dubard	Sapotaceae	-	M	17
16	*Milicia excelsa* (Welw.) C. C. Berg.	Moraceae	En danger	M	4,76
17	*Parkia bilglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don.	Fabaceae	-	M	15,48
18	*Pericopsis laxiflora* (Benth.) Meeuwen	Fabaceae	-	P	19,05
19	*Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub.	Fabaceae	-	M, P	97,62
20	*Pseudocedrela kotschyi* (Schweinf.) Harms	Meliaceae	-	M, P	29,76
21	*Pterocarpus erinaceus* Poir.,	Fabaceae	En danger	M, P	48,81
22	*Terminalia glaucescens* Planch. ex Benth.	Combretaceae	-	M, P	53,57
23	*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.	Sapotaceae	Vulnérable	M, P	91,67
24	*Zanthoxylum zanthoxyloides* (Lam.) Zepernick & Timler	Rutaceae	Vulnérable	M, P	4,76

* M : mortier, P : pilon.
** FC : fréquence de citation.

Relation entre les ethnies et les espèces utilisées

L'espèce est le premier critère de choix du bois pour la fabrication des mortiers et pilons (92 % des enquêtés), les autres critères étant le diamètre du tronc (89 %), sa rectitude (81 %), son état sanitaire (60 %) et sa longueur (11 %). Les enquêtés appartiennent à huit groupes ethniques que sont les Fon (31 %), Mahi (30 %), Idaatcha (21 %), Ifè (6 %), Holi (5 %), Tchabè (4 %), Itcha (2 %) et Losso (1 %) (cette dernière ethnie est représentée par un immigré togolais enquêté à Tchèti, une zone frontalière entre le Bénin et le Togo). Les espèces utilisées

varient en fonction des groupes ethniques. Selon, les résultats de l'AFC, les deux premiers axes expliquent 54,65 % de la variance totale. Ils sont donc suffisants pour comprendre la relation entre les ethnies et les espèces utilisées. La figure 2 indique que les variables Tchabè et *T. glaucecsens* sont corrélées négativement avec l'axe 1 (fabrication des mortiers), alors que les variables Holi, *D. oliveri*, *A. indica* et *A. auriculiformis* le sont positivement. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les fabricants tchabè utilisent plus fréquemment *T. glaucecsens* dans la fabrication, contrairement aux Holi qui se servent plutôt de *D. oliveri*, *A. indica* et *A. auriculiformis*. Sur l'axe 2, qui concerne la fabrication des pilons, les variables *P. kotschyi* et *A. africana*, corrélées négativement, s'opposent à Itcha, et *P. laxiflora*, corrélées positivement. Cela s'explique par le fait que les Itcha utilisent plus fréquemment *P. laxiflora* que *P. kotschyi* et *A. africana*.

Figure 2

Projection des ethnies et des espèces végétales utilisées dans le plan factoriel.

Caractéristiques floristiques et structurales des forêts inventoriées

Les densités moyennes des peuplements dans les forêts communautaires de Fita et de Gbadagba sont respectivement de 284 ± 100 pieds/ha et de 263 ± 53 pieds/ha, avec des surfaces terrières moyennes respectives de 23,61 ± 3,70 m^2/ha et de 17,69 ± 1,74 m^2/ha. Les espèces d'intérêt représentent dans ces deux forêts

respectivement 73,59 % et 37,80 % des densités totales des arbres, ce qui correspond à des surfaces terrières respectives de 10,14 ± 7,67 m^2/ha et 3,56 ± 1,16 m^2/ha. Ces valeurs renseignent sur la disponibilité de ces espèces. Par ailleurs, les indices de diversité de Shannon (I, 0,94 et 0,87 respectivement à Fita et Gbadagba) et les équitabilités (E, 0,84 et 0,78 respectivement à Fita et Gbadagba) obtenus indiquent, d'une part, une diversité d'espèces d'intérêt dans ces deux forêts et, d'autre part, une bonne structuration spatiale en leur sein. Le coefficient de Sorensen évalué à 0,92 entre ces deux forêts indique que leurs végétations se ressemblent du point de vue floristique.

Les espèces d'intérêt de la forêt de Fita ont été regroupées en trois catégories (fig. 3), à savoir : (1) les espèces *A. africana, D. mespiliformis* et *P. africana,*

Figure 3
Structures diamétriques des espèces dans la végétation locale.

dont les structures diamétriques présentent une allure en forme de « J », avec la majorité des individus appartenant aux classes de grands diamètres ; (2) *A. leiocarpus, T. glaucescens, V. paradoxa, P. laxiflora, P. erinnaceus, P. kotschyi, I. doka* et *B. africana,* espèces dont les structures en diamètre présentent une forme en « J renversé », et (3) les espèces *D. oliveri et P. biglobosa*, dont les structures diamétriques présentent une forme « en cloche », avec les plus grands effectifs dans les classes intermédiaires de diamètre.

Les espèces d'intérêt dans la forêt de Gbadagba ont des structures diamétriques qui montrent le niveau de dégradation de cette forêt, sauf pour l'espèce *Parkia biglobosa* dont la structure diamétrique a une allure erratique, avec les plus grands effectifs dans les classes de petits et de grands diamètres.

Discussion

Diversité des espèces utilisées

Les espèces utilisées pour fabriquer les mortiers et les pilons au centre du Bénin sont diverses. À l'exception de *Prosopis africana* et de *Pterocarpus erinaceus* respectivement citées par Laouali *et al.* (2014) et Traore *et al.* (2011), l'utilité de la plupart des espèces recensées dans cette présente étude n'avait jamais été évoquée dans la littérature scientifique. Le choix de ces espèces serait dû à la résistance de leurs bois soumis à des chocs répétés lors de l'utilisation des mortiers et pilons. Le bois préféré est *Prosopis africana* du fait de son bois très dur et très résistant à la dégradation (Laouali *et al.,* 2014 ; Akoegninou *et al.,* 2006). Cependant, des mesures de dureté et de résistance du bois des espèces sont encore nécessaires pour confirmer les propriétés évoquées, alors que six espèces (soit 25 % des espèces utilisées) sont déjà inscrites sur la liste rouge des espèces menacées au Bénin (tabl. 2) (Neuenschwander *et al.,* 2011).

Préférences des fabricants

Les fabricants du centre du Bénin n'ont pas les mêmes préférences pour les espèces choisies pour confectionner les mortiers et pilons. Les raisons de ces divergences sont diverses. Elles seraient dues à la disponibilité locale des espèces, celles-ci pouvant être également utilisées à d'autres fins (Mutamba., 2007 ; Ake-Assi *et al.,* 2010) ou certaines étant interdites d'utilisation selon certaines croyances ethniques (Hountondji *et al*., 2019).

Disponibilité des espèces en forêt

Bien que les densités des espèces d'intérêt rencontrées dans les forêts inventoriées soient considérables montrant une disponibilité significative de ces espèces, il

est important de renforcer les stratégies de leur conservation afin de réduire les pressions qui pèsent sur elles. La plus faible densité des espèces d'intérêt observée dans la forêt communautaire de Gbadagba (37,80 % de la densité totale des arbres contre 73,59 % à Fita) serait due aux fortes pressions anthropiques dans cette zone, notamment celles liées aux activités agricoles (Akplo *et al.,* 2019) et à la fabrication du charbon de bois. Les individus de gros diamètres recensés dans cette zone se rencontrent à l'état de reliques, plus ou moins naturelle, dans des forêts claires de montagne, difficiles d'accès (Agbo *et al.*, 2017). La structure diamétrique de forme erratique de l'espèce *P. biglobosa* dans cette forêt peut s'expliquer par le fait que celle-ci est utilisée plus fréquemment pour l'alimentation des populations que pour la fabrication de mortier (Koura *et al.,* 2013). En effet, ses graines servent à la fabrication d'un condiment utilisé pour cuisiner (l'*afintin*) et sont donc commercialisées. Ainsi, les populations préfèrent conserver les spécimens de *P. biglobosa* dans les peuplements pour y récolter des fruits plutôt que de les couper pour la fabrication de mortier, ce qui réduit considérablement sa fréquence de coupe par rapport aux autres espèces.

Conclusion

Cette étude a permis de recenser 24 espèces végétales utilisées pour la fabrication des mortiers et pilons au centre du Bénin. Deux d'entre elles (*P. africana* et *P. erinaceus*) avaient déjà été citées par d'autres auteurs comme espèces d'intérêt pour cet usage. Six d'entre elles (soit 25 % du nombre total d'espèces recensées) sont déjà déclarées menacées au Bénin, dont quatre en danger et deux vulnérables. Les inventaires forestiers ayant révélé la faible disponibilité de ces espèces, il est nécessaire de mettre en place des stratégies de production pour assurer leur conservation à long terme comme l'enrichissement de la végétation au travers de la production massive de plants issus de graines de diverses provenances pour chacune de ces espèces. Cette activité nécessiterait une gestion participative de ces ressources, impliquant populations, autorités locales et agents forestiers. Il est également urgent d'étendre ces travaux à d'autres zones du territoire pour mieux cerner les différents enjeux liés aux espèces utilisées dans les métiers du bois au Bénin.

Références bibliographiques

Agbo R., Missihoun A. A., Vihotogbe R., Assogbadjo E. A., Ahanhanzo C., Agbangla C., 2017
Impacts des usages traditionnels sur la vulnérabilité de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae) dans le district phytogéographique Zou au Bénin (en Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (2) : 730-742.

Ake-Assi E., Adou C. Y., Ipou Ipou J., Neuba D. F., Ake-Assi L., Traore D., 2010
« Représentations des plantes ornementales pour les populations d'Abidjan et San Pedro, en Côte d'Ivoire », *In* van der Burgt X., van der Maesen J., Onana J.-M. (éd.) : *Systématique et conservation des plantes africaines*, Royal Botanic Gardens, Kew : 289-296.

Akoegninou A., Adjakidje V., Essou J.-P., 2011
Les nouveaux ordres des angiospermes (utilité des espèces). Fascicule à l'usage des étudiants de licence et de master en Sciences naturelles et Agronomie. Université d'Abomey-Calavi, 222 p.

Akoegninou A, van der Burg W. J., van der Maesen L. J. G., 2006
Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers, Wageningen, 1 034 p.

Akplo T. M., Dan B. S. C., Houessou L. G., Houinato M. R. B., Sinsin A. B., 2019
Typologie et structure des systèmes agroforestiers dans la commune de Djidja (Bénin). *Revue internationale des sciences appliquées*, 2 (1) : 29-39.

Assongba F. Y., 2014
Ethnobotanique, écologie, répartition spatiale et statut de conservation de Dialium guineense *Willd. (Fabaceae) au Bénin*. Thèse de doctorat unique, Aménagement et gestion des ressources naturelles, université d'Abomey-Calavi, 245 p.

Dagnelie P., 1998
Statistique théorique et appliquée. Volume 2. De Boeck & Larcier, Belgique, 659 p.

Djego J., Djego-Djossou S., Cakpo Y., Agnani P., Sinsin B., 2011
Évaluation du potentiel ethnobotanique des populations rurales au sud et au centre du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 5 (4) : 1432-1447.

FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), 2005
Évaluation des ressources forestières mondiales 2005. Rome, 320 p.

FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), 2020
Situation des forêts du monde 2020. Rome, 32 p.

Gone Bi Z. B., Kouame D., Kone I., Adou Yao C. Y., 2013
Diversité végétale et valeur de conservation pour la biodiversité du parc national du mont Péko, une aire protégée, menacée de disparition en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences,* 71 : 5753-5762.

Houetchegnon T. O., 2016
Études ethnobotanique, écologique et morphologique de Prosopis africana *(Guill., Perrott. et Rich.) Taubert au Bénin et impacts des changements climatiques sur l'espèce*. Thèse de doctorat, université de Parakou, 175 p.

Hountondji M. O., Ajavon A. Y. C., Tente A. H. B., 2019
Stratégies endogènes de gestion des ressources naturelles : cas des forêts sacrées de la commune de Tori-Bossito au Bénin (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, 15 (15) : 12.

IFN-PBF2, 2007
Exécution d'un inventaire forestier national. Méthodologie et système de suivi et évaluation. Projet Bois de feu – Phase II. Cotonou, 62 p.

Insae (Institut national de la statistique et de l'analyse économique), 2016
Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin. RGPH-4, 2013. Bénin, 85 p.

Goodman L. A., 1961
Snowball sampling. *Annals of mathematical statistics*, 32 (1) : 148-170.

Koura K., Mbaide Y., Ganglo J. C., 2013
Caractéristiques phénotypique et structurale de la population de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. du Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (6) : 2409-2425.

Laouali A., Dan Guimbo I., Larwanou M., Inoussa M. M., Mahamane A., 2014
Utilisation de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub. dans le sud du département d'Aguié au Niger : les différentes formes et leur importance. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (3) : 1065-1074.

Loko Y. L. E., 2013
Analyse de la diversité variétale des ignames cultivées du complexe Dioscorea cayenensis Lam. – D. rotundata Poir. *du Bénin et évaluation agronomique participative des cultivars pour leur utilisation durable et conservation* in situ. Thèse de doctorat, université d'Abomey-Calavi, 315 p.

Marcon E., Morneau F., 2006
Mesures de la biodiversité. Rapport atelier. UMR « Écologie des forêts de Guyane », 34 p.

Mutamba M., 2007
Farming or foraging? Rural livelihoods in Mafulira and Kabompo districts of Zambia. Center for International Forestry Research and Rhodes University, 20 p.

Neuenschwander P., Sinsin B., Goergen G. (éd.), 2011
Protection de la nature en Afrique de l'Ouest : une liste rouge pour le Bénin. *Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin.* International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, 365 p.

R Core Team, 2018
R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. https://www.R-projet.org/

Tiebre M., Ouattara D., Vroh B. T. A., Gnagbo A., N'guessan K. E., 2016
Diversité floristique et disponibilité des plantes utilitaires en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 102 : 9699-9707.

Traoré L., Ouédraogo I., Ouedraogo A., Thiombiano A., 2011
Perceptions, usages et vulnérabilité des ressources végétales ligneuses dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (1) : 258-278.

Wilhelm M., 2014
Échantillonnage boule de neige : la méthode de sondage déterminée par les répondants. Rapports de méthodes. Office fédéral de la statistique (OFS), Neuchâtel, 60 p.

Chapitre 20

Plantes mellifères du parc national d'Ankarafantsika (Madagascar) et importance socio-économique du miel

Irinomenjanahary Randrianjafy
Université de Mahajanga, Madagascar

Tsaralaza Jorlin Tsiavahananahary
Université de Mahajanga, Madagascar

Hery Lisy Tiana Ranarijaona
Université de Mahajanga, Madagascar

Introduction

Madagascar est une île où la biodiversité est remarquable, avec une flore riche de 14 883 espèces de plantes vasculaires regroupées dans 243 familles et 64 ordres (Callmander *et al.*, 2011). Au nord-ouest de Madagascar, le parc national d'Ankarafantsika est l'un des plus importants de l'île avec une superficie de 136 673 ha. Il bénéficie d'un climat de type tropical sec fortement influencé par la mousson, avec une alternance d'une saison sèche, d'avril à octobre, et d'une saison pluvieuse, de novembre à mars (Tsitohery *et al.*, 2019). Ce parc est caractérisé par des forêts denses sèches semi-caducifoliées (GSPM, 2011), mais sa végétation naturelle varie suivant les types de sols et la topographie (Goodman *et al.,* 2018).

Parmi la grande richesse floristique du parc figurent les plantes mellifères à partir desquelles les abeilles prélèvent des substances, comme le nectar, le pollen et la résine, pour se nourrir et pour élaborer diverses productions. La pollinisation de ces plantes constitue un « service écosystémique » que les abeilles fournissent à l'homme, en plus de la production de miel.

La disponibilité des plantes mellifères dans le parc national et autour est affectée par le changement climatique et les activités anthropiques, comme les feux de brousse et la coupe illicite des bois. Ces pressions influencent le rendement en

miel. En outre, la baisse des potentialités en plantes mellifères d'une région peut affaiblir la population d'abeilles mellifères, *Apis mellifera unicolor* (Latreille, 1804), voire la faire disparaître. Pourtant, une étude a montré que la préservation de la santé des abeilles est nécessaire pour une bonne gestion de l'environnement, la sécurité alimentaire et la valorisation de l'agriculture mondiale (OIE, 2014).

Jusqu'à présent, la disponibilité des plantes mellifères du parc n'était pas connue, ce qui rendait impossible toute évaluation de l'apiculture. Ainsi, l'objectif de cette étude était, d'une part, d'identifier les plantes mellifères du parc national d'Ankarafantsika afin de mieux connaître, et de mieux faire connaître, les espèces butinées par les abeilles, dont les miels sont baptisés par les noms communs de ces plantes, et, d'autre part, de déterminer la qualité de la production de ces miels afin d'en améliorer le rendement et la valeur économique.

Méthodologie

L'étude s'est déroulée de novembre à décembre 2019, en début de la saison humide.

Localisation des sites d'étude

Le parc national d'Ankarafantsika se situe au nord-ouest de Madagascar, plus précisément dans la région Boeny. À l'intérieur et aux environs de ce parc, des apiculteurs amateurs et professionnels fournissent du miel et/ou des cires aux communes environnantes : Marosakoa, Mahajanga 1, etc.

La zone apicole d'Ankarafantsika a été subdivisée en dix sites selon nos méthodes d'inventaire, à savoir : Ampombibe, Ambolodia, Sainte Marie, Marosakoa, Andranofasika, Ambikakely, Ampombilava, Befotoana-Ankerika-Ampasikabe, Ampijoroa et Ambarindahy. Ces dix sites ont été choisis en fonction de la présence des coopératives des apiculteurs (des sites apicoles) à l'intérieur et aux alentours du parc. Leur localisation est présentée dans la figure 1.

Enquêtes socio-économiques

Les enquêtes socio-économiques ont consisté à collecter des informations auprès des vendeurs de miels, des apiculteurs et des consommateurs (81 personnes enquêtées), afin d'obtenir le plus grand nombre d'informations sur les plantes mellifères, ainsi que sur la filière apicole et les différents produits de la ruche.

Figure 1
Localisation des dix sites d'étude.
Source : BD500FTM, Rebioma 2016. Système de projection : WGS 1984.

Relevés floristiques

Afin d'avoir une représentation globale de la composition floristique, des relevés ont été effectués pour déterminer les espèces mellifères dans les dix sites apicoles, en utilisant la méthode du transect de Duvigneaud (Duvigneaud, 1946). Il s'agit d'un relevé linéaire de 100 m de longueur, constitué de carrés juxtaposés de 20 m × 20 m (fig. 2). Les 51 relevés floristiques ont été réalisés en utilisant le système de classification botanique de Cronquist (Cronquist, 1968).

Figure 2
Transect de Duvigneaud.

Résultats

Les résultats de cette étude ont mis en évidence la richesse spécifique en espèces mellifères des sites apicoles d'Ankarafantsika et de leurs alentours, la valeur socio-économique des miels ainsi que les problèmes rencontrés par la filière apicole.

Richesse floristique

Le recouvrement de la végétation de tous les sites d'étude est moyennement perturbé par des activités humaines sauf celui de Marosakoa très dégradé (évaluation par observation directe). À partir des inventaires floristiques effectués sur les sites apicoles d'Ankarafantsika, 85 espèces de plantes mellifères appartenant à 36 familles ont été répertoriées. Ces espèces se rencontrent dans différents types d'écosystèmes, tels que les forêts denses sèches semi-caducifoliées, les savanes boisées et les savanes arbustives.

Les plantes mellifères les plus connues par les apiculteurs sont les suivantes : les palissandres (*Dalbergia* spp.), les jujubiers (*Ziziphus mauritiana* Lam.), les palmiers (*Hyphaene shatan* Boj., *Bismarckia nobilis* Hildebr & H. Wendl. et *Dypsis* spp.), les bananiers (*Musa paradisiaca* L.), les cocotiers (*Cocos nucifera* L.) et des herbacées comme *Heteropogon contortus* (L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult.

Le tableau 1 présente la liste des espèces mellifères identifiées, les phénophases observées lors des relevés de terrain, ainsi que l'endémicité de chaque espèce.

Effectifs des espèces mellifères selon les sites

La composition spécifique des plantes mellifères varie beaucoup d'un site à un autre (fig. 3). Ampijoroa, situé dans le noyau dur du parc national d'Ankarafantsika (zone strictement protégée et non exploitable), présente l'effectif le plus élevé d'espèces mellifères (39 espèces), tandis que Marosakoa, localisé en périphérie du parc, n'abrite que six espèces. Par ailleurs, bien que les sites de Sainte Marie, Ambolodia et Ampombibe soient les plus éloignés du parc, les effectifs y sont relativement élevés (respectivement 16, 24 et 24 espèces). En effet, les forêts y sont bien gérées par les communautés locales et les écosystèmes sont faiblement perturbés. La variation de la composition spécifique d'un site donné dépend donc étroitement du degré de perturbation des écosystèmes. Parmi les 85 espèces mellifères répertoriées, quatorze espèces seulement étaient en fleurs lors de l'inventaire, contre 63 en feuille et huit en fruit (tabl. 1).

Tableau 1
Liste des espèces mellifères répertoriées.

Noms scientifiques	Famille	Noms vernaculaires	Phénologie	Endémicité
Acacia auriculiformis A. Cunn. ex Benth.	Mimosaceae	*Hazovahiny*	Feuillaison	Introduite
Acacia mangium Willd.	Mimosaceae	*Kasia beravina*	Feuillaison	Introduite
Albizia Durazz. sp.	Mimosaceae	*Fandriantomendry*	Feuillaison	Introduite
Albizia gummifera (J. E Gmel.) C. A. Sm.	Mimosaceae	*Sambalahy, Hazomborona*	Feuillaison	Autochtone
Albizia lebbeck (L.) Benth.	Mimosaceae	*Bonara*	Feuillaison	Introduite
Albizia polyphylla E. Fourn.	Mimosaceae	*Tsitohizambadimalaina*	Feuillaison	Endémique
Alchornea perrieri Leandri	Euphorbiaceae	*Sarigavo, tanantsovaka*	Feuillaison	Endémique
Anacardium occidentale L.	Anacardiaceae	*Mahabibo*	Feuillaison/Fructification	Introduite
Anacolosa pervilleana H. Bn	Olacaceae	*Maivalafika*	Fructification	Endémique
Antidesma madagascariense Lam.	Phyllanthaceae	*Taindalitra*	Floraison/Fructification	Endémique
Astrotrichilia asterotricha J. F. Cer & B. T Styl	Meliaceae	*Valomahamay, Andranoky*	Floraison	Endémique
Baudouinia fluggeiformis Baill.	Caesalpiniaceae	*Manjabentany*	Fructification	Endémique
Berchemia discolor (Klotzsch) Hemsl.	Rhamnaceae	*Sarikomanga*	Feuillaison	Autochtone
Brachylaena microphylla Humb.	Asteraceae	*Kisaka, Hazotokana*	Floraison	Endémique
Breonia A. Rich. sp.	Rubiaceae	*Boroha*	Feuillaison	Endémique
Bridelia berneriana Baill.	Euphorbiaceae	*Kitata*	Feuillaison	Endémique
Campylospermum lanceolatum (Baker) H. Perrier	Ochnaceae	*Moramena*	Feuillaison	Endémique
Canarium madagascariense Engl.	Burseraceae	*Ramy*	Feuillaison	Endémique
Capurodendron greveanum Baill. ex Aubrév.	Euphorbiaceae	*Nato*	Feuillaison	Endémique
Carissa spinarum L.	Apocynaceae	*Kabokala*	Feuillaison	Introduite

[…]

[…]

Noms scientifiques	Famille	Noms vernaculaires	Phénologie	Endémicité
Cedrelopsis grevei H. Baill.	Ptaeroxylaceae	*Katrafay*	Feuillaison	Endémique
Combretum obscurum Tul.	Combretaceae	*Voanjoala*	Feuillaison	Endémique
Croton argyrodaphne Baill.	Euphorbiaceae	*Lazalaza*	Feuillaison	Endémique
Dalbergia L. f. sp.	Papilionaceae	*Manary vazanomby*	Floraison	Endémique
Dalbergia erubescens Bosser & R. Rabev.	Papilionaceae	*Manary*	Feuillaison	Endémique
Dalbergia greveana Baill.	Papilionaceae	*Manary baomby,*	Feuillaison	Endémique
Dalbergia latifolia Roxb.	Papilionaceae	*Hazomena*	Feuillaison	Introduite
Dalbergia louveli R. Viguies	Papilionaceae	*Tsiandalana*	Feuillaison	Endémique
Dalbergia trichocarpa Baker J. Linn.	Papilionaceae	*Manary boty/manary kamboty*	Feuillaison	Endémique
Dioscorea antaly Jum. & Perrier	Dioscoreaceae	*Antaly*	Floraison	Endémique
Dioscorea sansibarensis Pax	Dioscoreaceae	*Fanganga*	Floraison	Introduite
Dombeya mollis Hook.	Tiliaceae	*Selivaloambaka, Hazoberavy*	Feuillaison	Introduite
Erythroxylum platyclados Bojer	Erythroxylaceae	*Tapiana, Tapiaka*	Fructification	Introduite
Erythroxylum pervillei Baill.	Erythroxylaceae	*Koropoko*	Fructification	Endémique
Eucalyptus L'Hér. sp.	Myrtaceae	*Kininina*	Feuillaison	Introduite
Eugenia jambolana Lam.	Myrtaceae	*Jambarao*	Feuillaison	Introduite
Ficus L. sp.	Moraceae	*Mandresilahy*	Feuillaison	Introduite
Grewia calvata Baker	Tiliaceae	*Mafimafy*	Floraison	Endémique
Grewia glandulosa Vahl	Tiliaceae	*Selivato*	Floraison	Autochtone
Grewia madagascariensis Capuron	Tiliaceae	*Sely malalia*	Feuillaison	Endémique
Grewia sely R. Vig.	Tiliaceae	*Sely be*	Feuillaison	Endémique
Hibiscus palmatifidus Baker	Malvaceae	*Mainaty*	Feuillaison	Endémique

Noms scientifiques	Famille	Noms vernaculaires	Phénologie	Endémicité
Hildegardia erythrosiphon Kosterm.	Sterculiaceae	*Amboringo*	Feuillaison	Endémique
Homalium albiflorum (Boivin ex Tul.) O. Hoffm.	Salicaceae	*Hazoambo*	Feuillaison	Endémique
Hymenodictyon decaryi Homolle	Rubiaceae	*Lohavato*	Feuillaison	Endémique
Hyphaene shatan Bojer ex Dammer	Arecaceae	*Satramira*	Feuillaison	Autochtone
Isolona perrieri Diels.	Annonaceae	*Ambahy*	Feuillaison	Endémique
Jatropha curcas L.	Euphorbiaceae	*Valavelona*	Feuillaison	Introduite
Macaranga cuspidata Boiv. ex Baill. var. *sihanaka* Leandri	Euphorbiaceae	*Valoembaka*	Floraison	Endémique
Mammea punctata P. F. Stevens	Clusiaceae	*Tsimatimanota*	Fructification	Endémique
Mangifera indica L.	Anacardiaceae	*Manga*	Feuillaison	Introduite
Mascarenhasia arborescens A. D. C.	Apocynaceae	*Godroa*	Feuillaison	Autochtone
Millettia aurea (R. Vig) Du Puy & Labat	Caesalpiniaceae	*Taintsindambo*	Feuillaison	Endémique
Millettia richardiana (Baill.) Du Puy & Labat	Caesalpiniaceae	*Ambilazo*	Feuillaison	Endémique
Neoapaloxylon madagascariense (Drake) Rauschert	Caesalpiniaceae	*Kilohoto, Kolohoto*	Feuillaison	Introduite
Noronhia linocerioides H. Perrier	Oleaceae	*Tsilaitra, Montsovy*	Floraison/Fructification	Endémique
Ochna madagascariensis D. C.	Ochnaceae	*Moramena, Boramena*	Floraison	Endémique
Operculicarya gummifera (Sprague) Capuron	Anacardiaceae	*Atikonjo*	Feuillaison	Autochtone
Pachypodium rutenbergianum Vatke	Apocynaceae	*Vontaka*	Feuillaison	Endémique
Paracarphalea kirondron (Baill.) Razafim. Ferm, B. Bremer & Karehed	Rubiaceae	*Hazomenavony*	Feuillaison	Endémique
Phylloctenium bernieri Baill.	Bignoniaceae	*Voatsakalava, tsoala*	Feuillaison	Endémique
Popowia pilosa Baill.	Annonaceae	*Fotsiavadika*	Feuillaison	Endémique
Rothmannia reniformis Harz.	Rubiaceae	*Sofikomba*	Feuillaison	Endémique
Saldinia oblongifolia Bremek.	Rubiaceae	*Mantalany*	Feuillaison	Endémique

[…]

[…]

Noms scientifiques	Famille	Noms vernaculaires	Phénologie	Endémicité
Savia danguyana Leandri	Phyllanthaceae	*Koropodambo*	Floraison	Endémique
Schefflera longipedicellata (R. Vig. & Danguy ex Lecomte) Bernadi	Araliaceae	*Matambelona*	Fructification	Endémique
Sclerocarya birrea subsp. caffra (Sond.) Kokwaro	Anacardiaceae	*Sakoala*	Floraison	Introduite
Securinega Comm. ex Juss. sp.	Euphorbiaceae	*Taipapango*	Feuillaison	Introduite
Sideroxylon gerrardianum (Hook. f.) Aubrév.	Sapotaceae	*Sarinato*	Floraison/Fructification	Endémique
Sorindeia madagascariensis D. C.	Anacardiaceae	*Voatsirindrina*	Feuillaison	Introduite
Stereospermum euphorioides (Baker) A. D. C.	Bignoniaceae	*Mangarahara*	Feuillaison	Endémique
Strychnos decussata (Pappe) Gilg.	Loganiaceae	*Hazomby*	Feuillaison	Introduite
Strychnos myrtoides Gilg. & Buss.	Loganiaceae	*Retendrika*	Fructification	Introduite
Strychnos madagascariensis Poir.	Loganiaceae	*Vakakoa*	Feuillaison	Autochtone
Syzygium sakalavarum (H. Perrier) Labat & G. E. Schatz	Myrtaceae	*Montsoala*	Feuillaison	Endémique
Tabernaemontana calcarea Pichon	Apocynaceae	*Hazopika*	Fructification	Endémique
Tamarindus indica L.	Caesalpiniaceae	*Madiro*	Feuillaison	Autochtone
Terminalia boivinii Tul.	Combretaceae	*Mantalia ala, taliala*	Feuillaison	Autochtone
Tetracera rutenbergii Buchenau	Dilleniaceae	*Vahitambotrika*	Feuillaison	Endémique
Tetrapterocarpon geayi Humbert	Caesalpiniaceae	*Vahiovy*	Feuillaison	Endémique
Tina chapelieriana (Cambess.) Kalkman	Sapindaceae	*Nofotrakoho*	Feuillaison	Endémique
Trilepisium madagascariense D. C.	Moraceae	*Lonjo, Kilily*	Feuillaison	Introduite
Vepris arenicola H. Perrier	Rutaceae	*Mampody*	Feuillaison	Endémique
Vitex perrieri Danguy	Verbenaceae	*Malazovoavihy*	Feuillaison	Endémique
Zanthoxylum tsihanimposa H. Perrier	Rutaceae	*Tsihanihimposa*	Feuillaison	Endémique

Figure 3
Effectifs des espèces mellifères de chaque site.

Taux d'endémicité

Sur les 85 espèces mellifères inventoriées, 54 espèces, soit 63 %, sont endémiques de Madagascar. Parmi elles, deux espèces – *Dioscorea antaly* Jum. & Perrier et *Vepris arenicola* H. Perrier – sont endémiques de l'ouest de l'île. Vingt-deux espèces, soit 26 %, sont introduites et les neuf espèces restantes, soit 11 %, sont des plantes autochtones de Madagascar.

Valeurs socio-économiques des miels

Dans l'économie familiale paysanne, le miel récolté sert en grande partie à l'autoconsommation familiale, seul le surplus étant destiné à la vente. Le miel peut être commercialisé à 2,5 €/l sur le marché local. La récolte de miel se fait en général deux fois par an : en février, pour le miel multifleurs, et à partir du mois de juin, pour le miel de palissandre. La production annuelle de miel d'un apiculteur peut atteindre jusqu'à 600 l selon les types et le nombre de ruches utilisés. Les apiculteurs professionnels utilisant des ruches de type Langstroth récoltent davantage de miel par rapport à ceux qui pratiquent l'apiculture traditionnelle avec des troncs d'arbres.

En plus de ses fonctions alimentaires, le miel possède également des vertus curatives contre certaines maladies. Dans la médecine traditionnelle *malagasy*, il est utilisé en tisane chaude pour soulager les symptômes communs de la grippe. La quasi-totalité des enquêtés connaissent la vertu antitussive du miel. Par ailleurs, dans certains remèdes, par exemple à base de poudre de *Curcuma*

longa L. (ou curcuma) servant à soulager les maux d'estomac, l'ajout du miel permet d'édulcorer le breuvage au goût amer. L'application de miel sur la gencive des bébés faciliterait la pousse de nouvelles dents de lait. Pour les personnes âgées, prendre une cuillère à soupe de miel chaque matin pourrait renforcer le système immunitaire. Enfin, un enquêté nous a même signalé que « prendre une douche avec du miel contenant une pièce de monnaie faite d'argent » pourrait guérir de l'épilepsie…

Problèmes liés à l'apiculture

Les apiculteurs font face à divers problèmes dont la plupart sont liés aux impacts des activités anthropiques. Les feux de brousse répétés (pour l'agriculture sur brûlis et les pâturages) sont nuisibles aux abeilles, d'où la difficulté actuelle pour les apiculteurs de trouver du miel dans leur terroir. En effet, les colonies d'abeilles migrent vers des zones de plus en plus éloignées des villages, de telle sorte que les apiculteurs marchent en moyenne 2 h pour en récolter. La coupe de bois de chauffage et l'augmentation de l'exploitation de ligneux, comme *Dalbergia* L. spp., *Cedrelopsis grevei* H. Baill, *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., *Acacia mangium* Willd. et *Bridelia berneriana* Baill, ont aussi entraîné la disparition d'espèces mellifères, et notamment des palissandres (*Dalbergia* L. spp) qui pourraient fournir une grande quantité de nectar.

Des enquêtés ont mentionné, par ailleurs, la présence de fausses teignes de la cire (*Galleria mellonella,* Linnaeus, 1758), papillons nocturnes pondant dans les ruches et dont les larves envahissent les rayons de miel, forçant ainsi la colonie d'abeilles à déserter la ruche. La solution serait de garder les ruches suffisamment éloignées des sources de lumière nocturne (lampes, feu de cuisine) qui attirent les papillons. D'autres bioagresseurs comme les fourmis et les araignées attaquent également les ruches.

Enfin, un des problèmes fréquemment rencontrés par les apiculteurs est l'emplacement inadéquat des ruchers ; soit le village est trop peuplé et n'est pas favorable à l'apiculture, soit les plantes mellifères aux alentours des ruches ne sont pas suffisantes pour satisfaire l'alimentation des abeilles. Tous ces problèmes ont engendré la diminution du nombre de colonies d'abeilles et du rendement en miel.

Discussion et conclusion

La présente étude a permis de mieux connaître l'impact de la disponibilité des plantes mellifères sur la production apicole dans et aux alentours du parc national d'Ankarafantsika, grâce à un inventaire floristique complété d'enquêtes socio-économiques. Quatre-vingt-cinq espèces mellifères ont été inventoriées dont la

plupart sont ligneuses et endémiques de Madagascar (65 %). Cette importante diversité spécifique indique que la zone d'étude est intéressante d'un point de vue floristique pour la production du miel malgré les pressions anthropiques qu'elle subit.

La couverture forestière du parc national d'Ankarafantsika a drastiquement diminué, passant de 114 000 ha en 1973 à 24 000 ha en 2016, soit une perte de près de 80 % des espaces forestiers au rythme de 3,5 % par an (Brou *et al.,* 2018). Cette forte déforestation pourrait avoir des impacts sur l'abondance des plantes mellifères et donc sur la quantité et la qualité des miels produits. Celles-ci dépendent en effet à la fois des plantes mellifères butinées par les abeilles et de l'environnement où se trouvent les ruches. Des soins particuliers sont également indispensables, tels que le contrôle et le nettoyage des ruches.

Les activités anthropiques, comme l'exploitation des ligneux, le charbonnage et les feux de brousse, ont des impacts sur les abeilles, ce qui diminue les quantités des miels produits dans la région occidentale de Madagascar. L'usage des pesticides par certains agriculteurs, en contaminant le nectar et les anthères des fleurs mellifères, aurait également des impacts non négligeables sur la survie des abeilles (Tasei, 1996).

Les formations végétales rencontrées dans les sites d'étude sont des forêts, des savanes boisées et des savanes arbustives. Aux environs des sites apicoles étudiés, les espèces mellifères endémiques sont plus nombreuses que celles introduites. Il existe plus d'espèces mellifères forestières que cultivées. Les familles les plus représentées sont celles des Caesalpiniaceae, Euphorbiaceae, Mimosaceae et Papilionaceae, avec six espèces chacune. Les espèces dominantes sont *Dalbergia* spp., *Stereospermum euphorioides* et *Grewia* spp., taxons caractéristiques de la forêt de l'Ouest-Malagasy, ce qui suggère l'existence antérieure d'une forêt dans les sites.

Comme la durée de la sécrétion de nectar dépend des caractéristiques biologiques des plantes ainsi que des facteurs climatiques et géographiques (Adjaloo *et al.,* 2015 ; Jaric *et al,* 2013), la disponibilité du nectar et de grains de pollen pour les abeilles est relativement faible durant la saison sèche. Cette insuffisance induit inévitablement la baisse du rendement en miel en saison sèche. Pourtant, le miel de palissandre, produit durant cette saison, est l'un des meilleurs miels connus à Madagascar grâce à son goût particulier et à sa consistance crémeuse.

Des plantations d'espèces forestières mellifères sont recommandées dans un rayon de 3 km aux alentours des ruchers installés, afin d'assurer l'apport des pollens et nectars aux abeilles. Les espèces suivantes sont suggérées : *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., *Acacia mangium* Willd., *Anacardium occidentale* L., *Eucalyptus* L. sp. *Moringa oleifera* Lam et *Sclerocarya birrea* subsp. *caffra* (Sond.) Kokwaro, du fait de leur croissance rapide et de leur production importante de nectar et de pollen. De plus, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, la préservation et la restauration des forêts sont indispensables car ces dernières constituent le deuxième plus grand puits de carbone de la planète, après les océans.

Références bibliographiques

Adjaloo M. K., Ankomah A. A., Yeboah-Gyan K., Dzomeku B. M., 2015
Nectar production dynamics in two melliferous plant species. *Genetics and Plant Physiology*, 5 (2) : 145-161.

Brou Y. T., Vololonirainy R., Boussougou G., Raharinjanahary R., Bigot S., Dumas D., Ramboarison R., Razanaka S., Parany L., Rakotoarijaona M., Hervé D., Rakotoarijaona J. R., Jaotera, 2018
Pressions agrodémographiques dans les espaces forestiers protégés de Madagascar : l'exemple du parc national d'Ankarafantsika.
Carnets de recherches de l'océan Indien, 2, université de La Réunion, 14 p.

Callmander M. W., Phillipson P. B., Schatz G. E., Andriambololonera S., Rabarimanarivo M., Rakotonirina N., Raharimampionona J., Chatelain C., Gautier L., Lowry Il P. P., 2011
The endemic and non-endemic vascular flora of Madagascar updated. *Plant Ecology and Evolution,* 144 : 121-125.

Cronquist A., 1968
The evolution and classification of flowering plants. *In* Houghton Mifflin Company (éd.) : *Riverside studies in biology,* 396 p.

Duvigneaud P., 1946
La variabilité des associations végétales. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg*., 78 : 107-134.

Goodman S. M., Raherilalao M. J., Wohlauser S., 2018
« L'Ouest et le Sud de Madagascar. Synthèse », *In* Goodman S. M., *et al*. : *Les aires protégées terrestres de Madagascar : leur histoire, description et biote*. Association Vahatra, tome III : 1293-1306.

GSPM (Groupe des spécialistes des plantes de Madagascar), 2011
Liste rouge des plantes vasculaires endémiques de Madagascar. 206 p.

Jaric S., Macukanovic-Jocic M., Mitrovic M., Pavlovic P., 2013
The melliferous potential of forest and meadow plant communities on Mount Tara (Serbia). *Environ. Entomol.,* 42 (4) : 724-732.

OIE (Organisation mondiale de la santé animale), 2014
Protéger les abeilles, protéger notre avenir. *Bulletin, 2014-2,* Paris, 86 p.

Tasei J. N., 1996
Impact des pesticides sur les abeilles et les autres pollinisateurs. *Courrier de l'environnement de l'Inra,* 29 : 9-18.

Tsitohery C., Tiandaza D. O., Razanamihaja N., 2019
Impact du changement climatique sur l'incidence du paludisme dans le nord-ouest de Madagascar. *Revue des sciences, de technologies et de l'environnement*, 1 : 220-234.

Chapitre 21

Plantes mellifères de la réserve de biosphère de Luki

République démocratique du Congo

Tolérant K. Lubalega
Inera, université de Kikwit, République démographique du Congo

Emmanuel Mangombe
Université Loyola du Congo, République démographique du Congo

Ernest Muanda
ULB Coopération, Belgique

Joel Vunzi
ULB Coopération, Belgique

Introduction

L'apiculture a été identifiée par l'Institut national pour l'étude et la recherche agronomique (Inera) comme une activité alternative intéressante pour améliorer les pratiques de gestion du territoire des agroapiculteurs, tout en leur garantissant des revenus décents. Ainsi, le jardin botanique mellifère de Luki (JBML), commun à l'Inera et à l'université libre de Bruxelles (projet « Synergie pour l'apiculture au Congo », Synapic, porté par ULB Coopération), a vu le jour en janvier 2019 dans la réserve de biosphère de Luki (RBL) au sud-ouest de la République démocratique du Congo (RDC). Ce jardin botanique a pour objectif d'accroître l'offre en ressources floristiques mellifères et de permettre leur valorisation au travers d'une apiculture durable. Dans cette perspective, il est nécessaire d'évaluer le potentiel mellifère de la réserve de biosphère de Luki afin d'améliorer les jachères apicoles en périphérie, notamment à l'aide de la régénération naturelle assistée. Cependant, il n'existe pas de données concernant le suivi phénologique (floraison) des espèces mellifères au sein de la RBL (Lubini, 1997a ; Beeckman, 2016 ; Angoboy *et al*, 2019).

Dans ce contexte, notre étude a eu pour objectif d'évaluer le potentiel mellifère des espèces apicoles de la RBL et, *in fine*, les aptitudes floristiques de la réserve et du jardin botanique de Luki dans le cadre d'une apiculture rentable et respectueuse de l'environnement.

Les questions de recherche étaient les suivantes : quelle est la richesse et la diversité spécifique des plantes mellifères au sein de la forêt de Luki ? Quand ont lieu les périodes de floraison des différentes espèces mellifères ? Quelles sont les périodes d'abondance et de disette de la floraison de ces espèces ? Pour y répondre, nous sommes partis des hypothèses suivantes :

– l'étalement des périodes de floraison permet d'éviter le manque d'approvisionnement alimentaire des abeilles domestiques et les désertions des ruches lors des périodes de disette ;

– le potentiel mellifère disponible au sein du rucher affecte la production du miel ;

– la richesse et la diversité spécifique du rucher (nombre des espèces mellifères en fleurs sur l'espace d'élevage des abeilles) influencent la qualité organoleptique du miel ;

– la quantité et la qualité des nectars, de la propolis, du pollen, etc., sont déterminantes pour la bonne santé des colonies.

Matériels et méthodes

Site d'étude

La RBL s'étend entre 5°35' et 5°45' de latitude Sud et entre 13°07' et 13°15' de longitude Est. Située à 120 km de la côte Atlantique dans la province du Kongo central en RDC, son altitude varie entre 150 et 500 m. Elle constitue la pointe sud du massif forestier guinéo-congolais, à la limite entre le centre régional d'endémisme guinéo-congolais et la zone de transition régionale guinéo-congolaise/zambézienne (White, 1986). Cette réserve est représentative de la forêt du Mayombe (Lubini, 1997a) dont le type est « *moist central Africa* » (Fayolle *et al*., 2014), ce qui correspond aux forêts semi-décidues de White (1986). Étant donnée la proximité de cette zone avec la côte Atlantique, son climat est de type AW_5[1] selon la classification de Köppen (1931) (Peel *et al.,* 2007), influencé par le courant marin froid de Benguela et les alizés du sud-est (Olson *et al*., 2001). La saison des pluies s'étale entre octobre et mai, et la grande saison sèche entre juin et août, parfois septembre (Couralet *et al*., 2010, 2013). Une petite saison sèche est parfois perceptible entre décembre et février (Couralet *et al*., 2013 ; Lubalega *et al*., 2018). Les précipitations annuelles

1 Aw_5 : climat tropical pluvieux avec une saison sèche de plus de cinq mois : aucun gel, moyenne de 18 °C pour le mois le plus froid.

moyennes oscillent entre 1 150 et 1 500 mm, avec une température moyenne annuelle variant de 25 à 30 °C (Lubalega et Mananga, 2018 ; Lubalega *et al*., 2018). Les sols y sont ferralitiques (oxisols), caractérisés par la présence d'oxydes de fer et d'aluminium (Tutula, 1968 ; Mukendi, 1973 ; Hubau, 2013). La végétation de la RBL constitue la pointe extrême de la forêt guinéenne du Mayombe en RDC (Lubini, 1984). En effet, ce pan de forêt doit son existence au complément hydrique du courant marin de Benguela. Elle varie suivant le type de sol sur lequel elle se développe – des sols hydromorphes ou des sols jeunes – et selon les biotopes – fonds de vallées, savanes, lisières, forêts, clairières et champs (Lubini, 1997a). La RBL est divisée en trois zones : la zone tampon, la zone de transition et la zone centrale (ou zone de conservation intégrale), toutes ayant un statut de conservation différent.

Collecte et analyse des données

Les mesures effectuées sur les arbres échantillonnés ont constitué les données de base de cette étude. Elles ont été collectées au sein d'un dispositif d'inventaire systématique de la RBL durant trois années (2018, 2019 et 2020) et de douze ruchers dans sa périphérie.

Des suivis phénologiques réalisés de 1948 à 1957, disponibles dans la base de données de l'Inera, ont été utilisés pour analyser les variations phénologiques liées aux changements climatiques. Ces données anciennes ont été complétées par des inventaires dendrométriques et des observations sur la floraison des espèces mellifères présentes à Luki. En effet, au sein de la RBL, quinze placettes d'inventaire ont été établies d'une superficie d'un hectare chacune (100 m x 100 m), réparties dans chacune des trois zones de la RBL (soit cinq parcelles par zone). Les arbres ont été identifiés et inventoriés dans chacune des trois placettes, en 2018, 2019 et 2020, et ils ont également fait l'objet de suivis. Des observations phénologiques ont été réalisées tous les 10 jours sur la totalité des arbres des placettes (4 364 arbres) par la même équipe ; la présence/absence des phénophases des houppiers (défeuillaison, floraison, fructification et dissémination) a été notée. Seuls les arbres dont le diamètre à hauteur de la poitrine (DHP, soit à 1,30 m de hauteur) était supérieur à 10 cm ont été pris en compte. Une étiquette portant un numéro unique a été placée sur la face sud de chaque arbre. Toutes les placettes ont fait l'objet d'inventaires forestiers systématiques, afin de caractériser la richesse et la diversité spécifiques des espèces forestières mellifères au sein de la réserve. Une espèce est qualifiée de mellifère si l'on observe des abeilles la butiner et transporter des ressources apicoles telles le pollen, le nectar et la propolis. La durée de floraison se traduit par la date où la floraison atteint son point culminant (« date pic »), ce qui permet de déterminer la grande miellée, la disette et la petite miellée.

Analyse des données

L'analyse a porté sur la richesse et la diversité spécifique, la période de floraison, le type de ressource apicole (pollen, propolis ou nectar), le DHP, le diamètre maximum (DMax), le diamètre minimum (Dmin), la surface terrière (m^2/ha), ainsi que la richesse par zone échantillonnée et par strate. Les données des inventaires réalisés dans chacune des placettes durant les trois années de suivi (2018, 2019 et 2020) ont servi à l'analyse du potentiel apicole de la zone. Les anciennes données (de 1948 à 1957) ont permis de connaître la phénologie de la floraison des espèces mellifères n'ayant pas été observées en cours de floraison lors des inventaires. Des analyses factorielles de correspondances, réalisées par le logiciel R, ont caractérisé la grande miellée, la disette et la petite miellée. Une analyse en composante principale (ACP) a mis en relation le nombre d'espèces mellifères en floraison et les autres paramètres de l'étude.

Résultats

Richesse et diversité spécifiques

Au total, 87 espèces mellifères ont été inventoriées sur toute la zone d'étude (RBL). La composition floristique et la structure de la végétation sont détaillées dans le tableau 1 en annexe. Les familles comprenant de nombreuses espèces mellifères sont les Fabaceae, Apocynaceae, Ulmaceae, Annonaceae, Combretaceae, Rubiaceae et Sapindaceae. En revanche, les familles suivantes présentent peu d'espèces mellifères : Simaroubaceae, Rutaceae, Sapotaceae, Salicaceae (fig. 1). Les colonnes de la figure 1 représentent le nombre d'espèces mellifères par famille botanique inventoriées dans les différentes placettes. Ce nombre varie de 0 à 140 espèces selon les familles.

Figure 1

Abondance des espèces mellifères par famille botanique.

Les barres noires dans les colonnes représentent les moyennes.

Corrélations entre les différentes variables

Le nombre d'espèces mellifères en floraison présente une corrélation positive avec les paramètres structuraux Dmax, DHP et surface terrière (m^2/ha) (fig. 2). Les coefficients de corrélation pour ces trois paramètres sont respectivement de 0,37, 0,20 et 0,18. En revanche, le nombre d'espèces mellifères en floraison présente une corrélation négative avec Dmin, avec un coefficient de corrélation de -0,30. La variable DHP présente une forte corrélation positive avec les paramètres m^2/ha et Dmax, avec des coefficients de corrélation de 0,97 et de 0,93 respectivement.

Figure 2

Résultats de l'analyse en composantes principales.

Dmin : diamètre minimum, Dmax : diamètre maximum, DHP : diamètre à hauteur de la poitrine.

Calendrier apicole

La grande saison des pluies (GSP) et la petite saison sèche (PSS) ont une influence positive très significative sur le nombre d'espèces mellifères en floraison.

Les figures 3, 4 et 5 montrent la variabilité de la floraison en fonction du nombre d'espèces mellifères et de la saisonnalité. La floraison est régulière et majoritairement annuelle pour les arbres et les espèces de la forêt du Luki, la date et l'intensité des pics de floraison varient néanmoins entre les années. Une plus faible proportion d'arbres en fleurs a été observée en réponse à des années moins arrosées. Les espèces mellifères de Luki fleurissent abondamment entre le mois de décembre et février (petite saison sèche) (fig. 3).

Il existe une relation significative entre les paramètres structuraux (diamètres et surfaces terrières) et la floraison (reproduction). Les espèces mellifères présentent une floraison étalée parmi lesquelles on retrouve les espèces de

canopée, celles de sous-bois et une espèce héliophile. Pour ces espèces, le diamètre minimum moyen de floraison est de 17,3 cm (fig. 4).

Figure 3
Nombre d'espèces mellifères selon la saison.
GSP : grande saison des pluies, GSS : grande saison sèche, PSS : petite saison sèche.

Figure 4
Saisonnalité de la floraison des espèces mellifères selon les paramètres structuraux (Dmax, Dmin, et m²/ha).
Dmin : diamètre minimum, Dmax : diamètre maximum, m²/ha : surface terrière.
GSP : grande saison des pluies, GSS : grande saison sèche, PSS : petite saison sèche.

Figure 5

Relations entre les saisons, les dates pics et les ressources en pollen et propolis.

On observe un grand nombre d'espèces mellifères en floraison pendant la GSP, et donc une disponibilité d'importantes ressources polliniques (fig. 6), de même, dans une proportion moindre, pendant la PSS.

La grande miellée s'observe de décembre jusqu'en mars (fig. 7). La petite miellée commence en septembre jusqu'à la fin du mois de novembre, et les périodes de disette (ou de pénurie) s'étalent entre le début du mois d'avril jusqu'à fin août, période de la grande saison sèche (GSS).

Figure 6

Saisonnalité de la floraison des espèces mellifères.

GSP : grande saison des pluies, GSS : grande saison sèche, PSS : petite saison sèche.

Figure 7
Périodicité des trois miellées (grande et petite miellées, disette).

Discussion

La composition floristique des placettes d'échantillonnage et les différentes données dendrométriques inventoriées ont mis en évidence une proportion importante de légumineuses (Fabaceae) dans la réserve. Cela traduit la stratégie connue des forêts denses humides qui associent des espèces arborées fixatrices d'azote (Lubini 1984, 1997a, 2003). Nair (1983) et Nsombo (2016) rapportent que les espèces ligneuses de légumineuses fixatrices d'azote augmentent également les concentrations de phosphore, de potassium, de calcium et de magnésium du sol. Elles pourraient donc avoir un effet facilitateur sur les processus phénologiques comme la floraison qui, elle-même, influe sur l'approvisionnement en aliments des abeilles.

La proportion plus importante d'espèces de Rubiaceae, famille d'espèces pionnières de colonisation d'espaces dégradés, suggère une tendance nettement forestière. En effet, ces espèces s'établissent dans le sous-bois en évolution et bénéficient de la dispersion de leurs semences par la faune locale, dont les abeilles (Nombré, 2003). L'incursion de potamochères, de céphalophes ou de *Cephalophys* (antilopes) est fréquente aux alentours de la station de l'Inera-Luki. Les oiseaux et des mammifères volants (chauves-souris) participent également à cette dissémination, contribuant ainsi à l'extension de forêt.

Les facteurs environnementaux peuvent limiter le processus de régénération naturelle dans le Mayombe. En effet, les diaspores sont plus ou moins dispersées selon la vitesse et la direction du vent. La petite saison sèche est bien liée à la

grande saison des pluies au cours de laquelle la grande miellée a lieu. En effet, la petite saison sèche se présente comme un prolongement de l'effet de la saison des pluies, avec une température moyenne voisine de celle de la grande saison des pluies. Le nombre élevé d'espèces mellifères butinées dans la zone d'étude montre le potentiel de développement apicole dans cette région. La floraison de ces espèces a lieu durant toute l'année, aussi bien en saison des pluies qu'en saison sèche, ce qui conforte l'intérêt de promouvoir des activités apicoles dans la zone. Comme ces activités dépendent en grande partie des ressources naturelles, la bonne gestion et la préservation de ces dernières sont indispensables pour le développement économique rural du Mayombe et, *in fine*, pour lutter contre la pauvreté.

Le calendrier apicole révèle la succession des floraisons des espèces mellifères de la réserve et de ses environs et permet de suivre la disponibilité en nutriments pour les abeilles. Il constitue ainsi un outil indispensable pour les aménagements apicoles, puisqu'il signale les périodes de floraison des espèces mellifères susceptibles d'aboutir à une bonne production de miel dans les ruches. Il peut également servir à l'identification des pollens lors d'analyses polliniques des produits de la ruche (Nombré, 2003).

Toutefois, dans le contexte actuel de gestion durable des écosystèmes forestiers et de changement climatique, des approches sylvicoles appropriées devraient être mises en œuvre pour éviter la disparition des spécimens semenciers. Par ailleurs, le calendrier floral d'une zone est susceptible de varier du fait des variations climatiques en cours, notamment par leurs impacts sur la date du début de la saison des pluies, sa durée et sur la quantité des précipitations annuelles. Il ne constitue donc pas un outil d'aménagement apicole infaillible (FAO, 1986). En dépit de la sélection exercée par les abeilles sur les espèces mellifères, comme l'a évoqué Nombré (2003), la disponibilité florale peut traduire une disponibilité importante en nutriments pour les abeilles dans la RBL et ses environs. Les hypothèses émises au début de notre étude sont ainsi validées par nos résultats.

Conclusion

Cette étude avait pour objectifs d'évaluer (1) le potentiel mellifère des plantes sauvages dans les forêts de la réserve de biosphère de Luki et de ses environs et (2) les aptitudes floristiques de la réserve et du jardin botanique mellifère de Luki pour une apiculture rentable et respectueuse de l'environnement. Le nombre élevé d'espèces mellifères, butinées dans la zone d'étude, montre un bon potentiel de développement de l'apiculture dans cette région. La floraison de ces espèces, étalée sur toute l'année, aussi bien en saison des pluies qu'en saison sèche, incite également à promouvoir les activités apicoles dans cette zone. Ces activités inciteront à l'utilisation durable des ressources naturelles, à leur bonne gestion

et préservation. L'Inera est conscient des impacts négatifs des activités anthropiques sur l'environnement et les ressources naturelles. La dégradation des terres et des ressources naturelles qui résulte de la déforestation nécessite de développer des solutions économiques alternatives au déboisement. Les approches agrosylvicoles mises en place à Luki s'y prêtent bien et vont de pair avec les activités apicoles qui offrent, en outre, la possibilité de développer un écotourisme autour d'une labellisation des miels produits dans la région. Le jardin botanique mellifère de Luki pourrait ainsi constituer une source d'approvisionnement en ressources mellifères de la station l'Inera-Luki.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Inera et les agents de la réserve de biosphère de Luki qui ont mis leurs compétences au profit de ce travail et ont facilité la mise en œuvre des inventaires sur le terrain.

Références bibliographiques

Angoboy B. I., Beeckman H., Ouédraogo D. Y., Bourland N., De Mil T., Bulcke J. V. D., Acker J. V., Couralet C., Ewango C., Hubau W., Toirambe B., Doucet J. L., Fayolle A., 2019
Une forte saisonnalité du climat et de la phénologie reproductive dans la forêt du Mayombe : l'apport des données historiques de la réserve de Luki en République démocratique du Congo, *Bois et forêts des tropiques*., 341 (3e trim.) : 39-53.

Beeckman H., 2016
Wood anatomy and trait-based ecology. *IAWA Journal*, 37 (2) : 127-151. https://doi.org/10.1163/22941932-20160127

Couralet C., Sterck F. J., Sass-Klaassen U., Van Acker J., Beeckman H., 2010
Species-specific growth responses to climate variations in understory trees of a Central African rain forest. *Biotropica*, 42 : 503-511. https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00613.x

Couralet C., Van Den Bulcke J., Ngoma L. M., Van Acker J., Beeck-Man H., 2013
Phenology in functional groups of Central African rainforest trees. *Journal of Tropical Forest Science*, 25 (3) : 361-374. https://www.jstor.org/stable/23617238

De Ridder M., 2013
*Tree-ring analysis and stem biomass estimation of limba (*Terminalia superba *Engl. & Diels) in the framework of sustainable forest management*. PhD. dissertation, Ghent University, Ghent, 167 p.

FAO, 1986
Tropical and subtropical apiculture. *FAO agricultural services bulletin*, 68.

Fayolle A., Swaine M. D., Bastin J., Bourland N., Comiskey J. A., Dauby G., *et al.*, 2014
Patterns of tree species composition across tropical African forests. *Journal of Biogeography*, 41 : 2320-2331. https://doi.org/10.1111/jbi.12382

Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2019
Changement climatique et terres émergées. Rapport spécial du Giec sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des terres, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres. 39 p.

Grossiord C., Gessler A., Granier A., Bonal D., 2015
Les forêts tempérées face aux conséquences du changement climatique : est-il primordial de favoriser une plus forte diversité d'arbres dans les peuplements forestiers ? *Rev. For. Fr.*, LXVII (2) : 99-110.

Hubau W., 2013
Exploring charcoal as a natural archive for palaeofire and vegetation history of the Mayumbe, Democratic Republic of the Congo. PhD Dissertation, Ghent University, 224 p.

IUCN (International Union for Conservation of Nature), 1994
Guidelines for protected area management categories. IUCN, Gland & Cambridge.

Lubalega T. K., Mananga P. M., 2018
Évaluation de la biodiversité spécifique ligneuse des cultures agricoles sous couvert arboré à Patu, dans le Mayombe, en République démocratique du Congo (RDC). *Congo Sciences*, 6 (2) : 1-8.

Lubalega T. K., Isungu I., Mupwala É., Mabanga A, Khasa D. P., Ruel J. C., Mayigu H., Matangwa E., Dishiki E., 2018
Étude de la régénération naturelle de cinq espèces semencières dans la réserve de biosphère de Luki en RDC. *Revue africaine d'environnement et d'agriculture*, 1 (1) : 2-9.

Lubalega T. K., 2016
Évolution naturelle des savanes mises en défens à Ibi-village, sur le plateau des Bateke, en République démocratique du Congo. Thèse de doctorat, université Laval, Québec, Canada.

Lubini A., 1984
La végétation de la réserve de biosphère de Luki (Bas-Zaïre). Département de l'Environnement, Conservation de la nature et Tourisme MAB, Zaïre, 52 p.

Lubini A., 1997a
La végétation de la réserve de biosphère de Luki au Mayumbe (Zaïre). Opera botanica Belgica, Meise, 151 p.

Lubini A., 1997b
Les ressources phylogénétiques des savanes du Zaïre méridional. Actes du colloque « Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes », 24-28 fév. 1997, Bamako.

Lubini A., 2003
Ressources des forêts secondaires en Afrique centrale et occidentale francophone. Actes de l'atelier régional FAO/IUCN sur la gestion des forêts tropicales. 17-21 nov. 2003, Douala, Cameroun.

Mille G., Louppe D. (éd.), 2015
Memento du forestier tropical. Éditions Quae, Versailles, 1 200 p.

Mukendi M. W., 1973
Étude dans les blocs sylvo-bananiers de la station forestière de l'Inera-Luki et du chantier forestier de l'État au km 28 (Mayombe). Rapport de master, université nationale du Zaïre, Kinshasa.

Nair P. K. R., 1983
"Agroforestry with coconuts and other tropical plantation crops". *In* Huxley P. A. (ed.) : *Plant reseach and agroforestry*. Icraf, Nairobi : 79-102.

Nasi R., Putz F. E., Pacheco P., Wunder S., Anta S., 2011
Sustainable forest management and carbon in Tropical Latin America. *The case for REDD+ forests*, 2 : 200-217.

Nombré I., 2003
Étude des potentialités mellifères de deux zones du Burkina Faso : Garango (province du Boulgou) et Nazinga (province du Nahouri). Thèse de doctorat, université de Ouagadougou, Burkina Faso, 214 p.

Nsombo B., 2016
Évolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Bateke en République démocratique du Congo. Thèse de doctorat, Eraift/Université de Kinshasa, Aménagement et gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux.

Olson D. M., Dinerstein E., Wikramanayake E. D., Burgess N. D., Powell G. V. N., Underwood E. C. *et al.*, 2001
Terrestrial ecoregions of the World: a new map of life on Earth. A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *Bioscience*, 51 (11) : 933-938. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2

Peel M. C., Finlayson B. L., Mcmahon T. A., 2007
Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.,* 11 : 1633-1644. www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.html

Pérot T., Vallet P., 2012
Des forêts mélangées, une stratégie pour produire du bois face aux enjeux énergétiques et climatiques ? *Sciences Eaux et Territoires*, cahier spécial, II : 6-11.

Trefon T., De Putter T., 2017
Ressources naturelles et développement. Le paradoxe congolais. Coll. Cahiers africains, 90, Mrac/L'Harmattan, Paris, 195 p.

Trefon T., Hendricks T., Kabuyaya N., Ngoy B., 2010
L'économie politique de la filière du charbon de bois à Kinshasa et à Lubumbashi : appui stratégique à la reconstruction post-conflit en RDC. Institute of Development Policy and Management, Anvers.

Tutula P., 1968
L'enrichissement de la forêt du Mayumbe en Terminalia superba *Engl. et Diels par le sylvo-bananier*. Rapport de master, université Lovanium de Kinshasa, Kinshasa.

White F., 1986
La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique Unesco/AETFAT/UNSO. Orstom-Unesco, Paris, 385 p. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-06/24837.pdf

White L., Edwards A., 2001
Conservation en forêt pluviale africaine : méthodes de recherche. The Wildlife Conservation Society, New York. 1re édition française, 455 p.

Annexe

Tableau 1
Composition des différentes espèces mellifères inventoriées, structure et phénologie de la floraison.

Nom scientifique	Famille	Pollen	Nectar	Propolis	Nombre	DHP (cm)	m²/ha	Dmin (cm)	Dmax (cm)	Saison	Date PIC
Antrocaryon nannanii De Wild.	Anacardiaceae	pollen				88,2	0,61			GSP	23-mars
Afzelia bipindensis Harms	Fabaceae-Caesalpiniodeae	pollen				37,2	0,11			GSP	03-nov
Aidia ochroleuca (K. Schum.) E. M. A. Petit	Rubiaceae	pollen				65,1	0,33			GSP	29-avr
Albizia ferruginea (Guill. & Perr.) Benth	Fabaceae-Mimosoideae	pollen				61,3	0,30			GSP	03-sept
Allanblackia floribunda Oliv.	Clusiaceae	pollen				36,6	0,11			GSP	19-juil
Allophylus africanus P. Beauv.	Sapindaceae	pollen				52,65	0,22			GSP	29-août
Amphimas ferrugineus Pierre ex Pellegr.	Fabaceae-Faboideae	pollen				24,45	0,05			GSP	01-févr
Anthonotha macrophylla P. Beauv	Fabaceae-Caesalpinioideae	pollen				40,95	0,13			PSS	23-avr
Antiaris toxicaria Lesch.	Moraceae	pollen				70,75	0,39			GSP	16-déc
Baikiaea insignis Benth.	Fabaceae-Caesalpinioideae	pollen	nectar			35,5	0,10			PSS	06-févr
Barteria dewevrei De Wild. & T. Durand	Passifloraceae	pollen	nectar			17,9	0,03			PSS	17-janv
Blighia welwitschii (Hiern) Radlk.	Sapindaceae	pollen	nectar			50,3	0,20			GSP	30-déc

[…]

[…]

Nom scientifique	Famille	Pollen	Nectar	Propolis	Nombre	DHP (cm)	m²/ha	Dmin (cm)	Dmax (cm)	Saison	Date PIC
Bombax buonopozense P. Beauv.	Bombacaceae	pollen	nectar	propolis		51	0,20			GSP	05-mars
Canarium schweinfurthii Engl.	Burseraceae	pollen	nectar	propolis		22,4	0,04			GSS	22-août
Carapa procera D. C.	Meliaceae	pollen	nectar			20,7	0,03			PSS	25-janv
Ceiba pentandra (L.) Gaertn.	Bombacaceae	pollen	nectar			49,15	0,19			GSP	27-déc
Celtis mildbraedii Engl.	Ulmaceae	pollen	nectar			52,95	0,22			GSP/PSS	05-avr
Chrysophyllum africanum A. D. C.	Sapotaceae	pollen	nectar			21,3	0,04			PSS	31-janv
Coelocaryon botryoides Vermoesen	Myristicaceae	pollen	nectar			18,65	0,03			GSS	03-août
Cola bruneelii De Wild	Sterculiaceae		nectar			39,5	0,12			GSS	11-janv
Corynanthe paniculata Welw.	Rubiaceae		nectar			51,2	0,21			GSP	09-juil
Dacryodes buettneri (Engl.) H. J. Lam	Burseraceae		nectar			79,75	0,50			GSP	16-sept
Deinbollia laurentii De Wild.	Sapindaceae	pollen				54,5	0,23			PSS	23-sept
Dialium excelsum Steyaert	Fabaceae-Caesalpiniodeae	pollen				45,5	0,16			GSP	21-févr
Dialium pachyphyllum Harms	Fabaceae-Caesalpiniodeae					82,25	0,53			GSP	11-mars
Discoglypremna caloneura (Pax) Prain	Euphorbiaceae		nectar			41,15	0,13			PSS	16-févr
Enantia affinis Exell	Annonaceae		nectar			43,95	0,15			PSS	06-janv
Entandrophragma angolense (Welw.) C. D. C.	Meliaceae		nectar			21,05	0,03			GSP	23-avr

Nom scientifique	Famille	Pollen	Nectar	Propolis	Nombre	DHP (cm)	m²/ha	Dmin (cm)	Dmax (cm)	Saison	Date PIC
Eriocoelum microspermum Gilg ex Radlk.	Sapindaceae		nectar			54,25	0,23			GSP	22-sept
Erythrina droogmansiana De Wild. & T. Durand	Fabaceae-Faboideae	pollen				41,7	0,14			GSP	18-avr
Erythrophleum suaveolens (Guill. & Perr.) Brenan	Fabaceae-Caesalpiniodeae		nectar			38,45	0,12			GSP	12-oct
Funtumia elastica (P. Preuss) Stapf	Apocynaceae		nectar			58,1	0,27			GSS	18-juil
Ganophyllum giganteum (A. Chev.) Hauman	Sapindaceae		nectar			66,25	0,34			PSS	26-janv
Garcinia epunctata Stapf	Clusiaceae		nectar			23,9	0,04			PSS	12-janv
Harungana madagascariensis Lam. ex Poir.	Hypericaceae		nectar			40,65	0,13			GSS	08-mai
Hexalobus crispiflorus A. Rich.	Annonaceae		nectar			71,1	0,40			GSP	21-mars
Holoptelea grandis (Hutch.) Mildbr.	Ulmaceae		nectar			39,7	0,12			GSP	04-déc
Hua gabonii Pierre ex De Wild.	Huaceae		nectar			35,35	0,10			PSS	25-janv
Hylodendron gabunense Taub.	Fabaceae-Caesalpinioideae	pollen				39,15	0,12			PSS	23-févr
Hymenocardia ulmoides Oliv.	Euphorbiaceae		nectar			19,85	0,03			GSS	25-juil
Irvingia grandifolia (Engl.) Engl.	Irvingiaceae		nectar			25	0,05			PSS	02-janv
Isolona dewevrei (De Wild. & T. Durand) Engl. & Diels	Annonaceae		nectar			21	0,03			PSS	21-janv
Klainedoxa gabonensis Pierre ex Engl.	Irvingiaceae		nectar			56,65	0,25			GSP	16-déc

[…]

[…]

Nom scientifique	Famille	Pollen	Nectar	Propolis	Nombre	DHP (cm)	m²/ha	Dmin (cm)	Dmax (cm)	Saison	Date PIC
Lannea welwitschii (Hiern) Engl.	Meliaceae		nectar			73,45	0,42			PSS	06-févr
Lovoa trichilioides Harms	Meliaceae		nectar			17,2	0,02			PSS	05-févr
Macaranga monandra Müll.Arg	Euphorbiaceae		nectar			55,4	0,24			GSP	03-mars
Maranthes glabra (Oliv.) Prance	Chrysobalanaceae		nectar			18,1	0,03			GSP	12-nov
Markhamia tomentosa (Benth.) K. Schum. ex Engl.	Bignoniaceae		nectar			18,8	0,03			GSS	20-août
Microdesmis puberula Hook. f. ex Planch.	Pandaceae		nectar			10,35	0,01			GSP/GSS	10-mars
Milicia excelsa (Welw.) C.C. Berg	Moraceae		nectar			26,1	0,05			GSP	07-mars
Monodora angolensis Welw.	Annonaceae		nectar			32,2	0,08			PSS	06-févr
Musanga cecropioides R. Br.	Moraceae		nectar			82	0,53			PSS	30-janv
Myrianthus arboreus P. Beauv.	Moraceae		nectar			23,75	0,04			GSS	23-août
Newtonia leucocarpa (Harms) G. C. C. Gilbert & Boutique	Fabaceae-Mimosoideae		nectar			23,9	0,04			GSP	17-oct
Oncoba welwitschii Oliv.	Salicaceae		nectar			23,9	0,04			PSS	18-janv
Ongokea gore (Hua) Pierre	Olacaceae		nectar			47,1	0,17			GSP	21-sept
Parkia filicoidea Welw. ex Oliv.	Fabaceae-Mimosoideae		nectar			54	0,23			GSP	02-mars
Paropsia braunii Gilg.	Passifloraceae		nectar			39,25	0,12			GSP	05-nov
Pausinystalia macroceras (K. Schum.) Pierre	Rubiaceae	pollen	nectar			36,8	0,11			GSP	12-août

Nom scientifique	Famille	Pollen	Nectar	Propolis	Nombre	DHP (cm)	m²/ha	Dmin (cm)	Dmax (cm)	Saison	Date PIC
Pentaclethra eetveldeana De Wild. & T. Durand	Fabaceae-Mimosoideae	pollen	nectar			70,5	0,39			GSP	08-oct
Pentaclethra macrophylla Benth.	Fabaceae-Mimosoideae		nectar			57,25	0,26			GSS	18-sept
Petersianthus macrocarpus (P. Beauv.) Liben	Lecythidaceae		nectar			88,7	0,62			PSS	15-févr
Piptadeniastrum africanum (Hook. f.) Brenan	Fabaceae-Mimosoideae		nectar			84,15	0,56			GSP	19-déc
Prioria balsamifera (Vermoesen) Breteler	Fabaceae-Caesalpinioideae		nectar			88,8	0,62			PSS	05-févr
Prioria oxyphylla (Harms)	Fabaceae-Caesalpinioideae		nectar			63	0,31			GSP	16-oct
Pseudospondias microcarpa (A. Rich.) Engl.	Anacardiaceae		nectar			80,1	0,50			PSS	17-févr
Pteleopsis hylodendron Mildbr	Combretaceae		nectar			74,75	0,44			GSS	15-juil
Pterocarpus tinctorius Welw.	Fabaceae-Faboideae		nectar			69,7	0,38			GSP	25-août
Pycnanthus angolensis (Welw.) Warb.	Myristicaceae		nectar			80,65	0,51			GSP	02-août
Quassia undulata (Guill. & Perr.) D. Dietr.	Simaroubaceae		nectar			89,9	0,63			GSP	22-déc
Ricinodendron heudelotii (Baill.) Pierre ex Heckel	Euphorbiaceae		nectar			63,4	0,32			GSP	12-mars
Scottellia klaineana Pierre	Flacourtiaceae		nectar			70	0,38			GSP	01-avr
Staudtia kamerunensis Warb.	Myristicaceae		nectar			63	0,31			GSP	27-août
Sterculia bequaertii De Wild.	Sterculiaceae		nectar			54,6	0,23			GSP	29-mai

[…]

[…]

Nom scientifique	Famille	Pollen	Nectar	Propolis	Nombre	DHP (cm)	m²/ha	Dmin (cm)	Dmax (cm)	Saison	Date PIC
Strombosia grandifolia Hook. f.	Olacaceae		nectar			85,2	0,57			GSP	04-déc
Symphonia globulifera L. f.	Clusiaceae		nectar			127,4	1,27			GSP	13-nov
Tabernaemontana crassa Benth.	Apocynaceae		nectar			60,6	0,29			GSS	17-juin
Terminalia superba Engl. & Diels	Combretaceae		nectar			80,2	0,51			GSS	24-mai
Tetrapleura tetraptera (Schumach. & Thonn.) Taub	Fabaceae-Mimosoideae		nectar			41,05	0,13			GSS	29-juil
Tetrorchidium didymostemon (Baill.) Pax & K. Hoffm.	Euphorbiaceae		nectar			58,5	0,27			GSP	25-avr
Trichilia gilgiana Harms	Meliaceae		nectar			40,45	0,13			GSP	29-août
Trichoscypha acuminata Engl.	Anacardiaceae	pollen				25,25	0,05			GSP	14-nov
Trilepisium madagascariense D. C.	Moraceae	pollen				30,5	0,07			GSP	24-nov
Vitex welwitschii Gürke	Verbenaceae	pollen				28,6	0,06			GSS	31-mai
Xylopia wilwerthii De Wild. & T. Durand	Annonaceae	pollen				22,3	0,04			PSS	18-févr
Zanha golungensis Hiern	Sapindaceae	pollen				30,8	0,07			GSP	05-nov
Zanthoxylum gilletii (De Wild) P. G. Waterman	Rutaceae	pollen				32,6	0,08			PSS	28-janv

DHP : diamètre à hauteur de poitrine, Dmin : diamètre minimum, Dmax : diamètre maximum, m²/ha : surface terrière.
GSP : grande saison des pluies, PSS : petite saison des pluies.

Chapitre 22

Gestion et valorisation durable des zones raphières à Madagascar

Étude de quatre sites de la région de Boeny

Zolalaina Andriamanantena
Université de Mahajanga, Madagascar

Ainazo Herilala Andriamanantena
Université de Mahajanga, Madagascar

Fenozo Heritiana Andriamanantena
Université de Mahajanga, Madagascar

Hery Lisy Tiana Ranarijaona
Université de Mahajanga, Madagascar

Introduction

Madagascar est une île de 587 000 km^2, dont les formations forestières sont très diversifiées et variées en fonction du climat de la région. La Grande Île est considérée comme l'un des territoires les plus riches en palmiers dans le monde (Rakotoarinivo, 2008). *Raphia farinifera* (Gaertn) Hyl. est un grand palmier des zones marécageuses de ce pays. Le terme « raphières » est utilisé à Madagascar pour désigner les formations végétales à base de raphia, alors que le terme « raphiale » est préféré ailleurs en Afrique.

À Madagascar, les superficies des raphières ont diminué ces dernières années du fait des pressions naturelles et anthropiques. Dans la région de Boeny, les zones raphières de Ambahiviky et de Amboaboaka sont gérées par les communautés locales. À Antafihiky, elles ont été restaurées et celles d'Antrema se rencontrent dans la nouvelle aire protégée. Cependant, les raphières y sont-elles exploitées de manière durable ? Pour répondre à cette question, notre étude a eu comme objectifs de mieux connaître (1) la diversité végétale et la dynamique

de ces écosystèmes, (2) les utilisations faites par les communautés et les avantages offerts par ces espèces, notamment en médecine traditionnelle, et (3) d'identifier les pressions que ces zones subissent, afin de proposer les pistes de gestion durable.

Matériels et méthodes

Sites d'étude

Les quatre sites d'étude ont été les suivants : Ambahiviky, Amboaboaka, Antafihiky, Antrema. Tous sont situés dans la région de Boeny, au nord-ouest de l'île. Les sites de Ambahiviky, Amboaboaka, et Antafihiky sont localisés dans le district de Mahajanga II. Ambahiviky et Amboaboaka se situent dans le même village, appelé en langue *malagasy* : *fokontany* Ankilahila, dans la commune rurale de Betsako ; Antafihiky est localisé dans le *fokontany* Mariarano, dans la commune rurale du même nom. Seul, Antrema se situe dans la nouvelle aire protégée (*fokontany* Antrema) dans la commune rurale de Katsepy, dans le district de Mitsinjo (fig. 1). Dans ces quatre sites, les zones raphières ravitaillent les rizières environnantes en eau. Autrement dit, les raphières jouent un rôle écologique et économique important en contribuant directement à l'entretien des sources et au maintien de l'humidité des marécages.

Méthodes

Deux méthodes de relevés ont été adoptées afin d'inventorier toutes les espèces présentes dans les raphières des quatre sites d'étude : la méthode de transect de Duvigneaud (1980) et celle des placeaux de Braun-Blanquet (1965). La méthode de transect de Duvigneaud a été réalisée dans les formations marécageuses hétérogènes à raphia. Celle des placeaux de Braun-Blanquet a été utilisée car elle permet d'étudier quantitativement une végétation homogène, en l'occurrence sur une surface de 20 m x 20 m. Ensuite, des enquêtes ethnobotaniques ont été effectuées en utilisant la méthode accélérée de recherche participative (Marp) (Gueye, 1991), afin de connaître les utilisations directes des raphières, notamment pour la santé des populations locales. Ces enquêtes ont été menées auprès des membres des communautés locales, des chefs *fokontany* et des populations riveraines. Elles ont également servi à identifier les pressions naturelles et anthropiques subies par les raphières et à formuler des recommandations en matière de préservation des raphières, aussi bien pour la population locale que pour les membres des communautés locales et les autorités locales et/ou nationales.

Figure 1

Localisation des sites d'étude.

Projection : WGS_1984_UTM Sources des données : Landsat 8 et Spot 6 et 7 et Z. Andriamanantena © 2017 F. H. Andriamanantena.

Étude de la régénération naturelle

La régénération naturelle est l'ensemble des processus par lesquels les plantes se multiplient sans intervention sylvicole, par graine ou par multiplication végétative (Rollet, 1983). Mesurer l'aptitude à se régénérer d'une espèce permet d'évaluer les risques de son extinction et de connaître le dynamisme d'une végétation afin de mettre en place une planification à long terme pour l'exploitation rationnelle de la forêt.

Les paramètres suivants ont été notés pour toutes les espèces forestières afin d'étudier la régénération naturelle spécifique des zones raphières : la hauteur maximale et le diamètre à hauteur de poitrine (Dhp) (ou *diameter at breast height,* DBH). L'étude s'est intéressée aux semenciers (individus mâtures de Dhp > 10 cm), capables de fleurir et de fructifier, et aux jeunes plants (individus de Dhp < 10 cm) de l'espèce étudiée (Rothe, 1964). La formule suivante a été utilisée :

$$\text{TR (\%)} = \frac{n}{N} \times 100$$

où *TR* est le taux de régénération, *n*, le nombre de jeunes plants et *N*, le nombre de semenciers ou individus mâtures.

Suivant l'échelle de Rothe (1964), l'espèce rencontre des difficultés pour se régénérer lorsque son taux de régénération est inférieur à 100 %. En revanche, sa régénération est bonne quand le taux est compris entre 100 et 999 %, et très bonne quand il est supérieur à 1 000 %.

Mesure de similarité

Cette mesure permet de comparer la composition floristique des relevés et de connaître leurs affinités. Il a été utilisé afin de calculer le coefficient de similitude de Sorensen (1948), grâce auquel les relevés sont comparés deux par deux en se basant sur le pourcentage d'espèces qu'ils ont en commun. La mesure de similarité permet ainsi de vérifier l'homogénéité des sites au regard de leur composition floristique.

Elle est exprimée par la formule suivante :

$$PS = \frac{2c}{a+b} \times 100$$

où a est le nombre d'espèces du relevé A, b le nombre d'espèces du relevé B et c, le nombre d'espèces communes aux deux relevés A et B.

PS est le coefficient de Sorensen, ou indice de similarité de Sorensen, exprimé en pourcentage. Il se traduit par une matrice de Sorensen.

Deux relevés sont similaires si leur coefficient de similitude est supérieur à 50 %, c'est-à-dire s'ils ont plus d'espèces communes que d'espèces différentes. Deux relevés sont totalement différents lorsque leur coefficient est nul ; ils n'ont alors aucune espèce commune.

Résultats

Richesse floristique

Au total, 51 espèces appartenant à 47 genres et à 31 familles associées au raphia ont été recensées dans les sites d'étude (tabl. 1).

Les familles les plus rencontrées sont les suivantes : Cyperaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae et Pteridaceae. Le site le plus riche en espèces est Amboaboaka avec 29 espèces, suivi de Antrema et de Antafihiky (22 espèces) puis de Ambahiviky (16 espèces). Certaines espèces sont endémiques, telles que *Aloe maroclada* L., *Cordyla madagascariensis* R. Vig., *Monanthotaxis* sp. Baill., *Ravenala madagascariensis* Sonn. et *Weinmannia rutenbergii* Engl.

Tableau 1
Liste floristique des espèces recensées des sites d'étude.

Noms scientifiques	Noms vernaculaires	Sites d'étude			
		Ambahiviky	Amboaboaka	Antafihiky	Antrema
Anacardiaceae					
Anacardium occidentale L.	*Mahabibo*	0	1	0	1
Mangifera indica L.	*Manga*	1	1	0	1
Annonaceae					
Monanthotaxis sp. Baill.	*Tsiavaliky*	0	0	0	1
Apiaceae					
Hydrocotyle bonariensis Comm. ex Lam.	*Viliantsahona, Felibay*	0	0	1	0
Apocynaceae					
Mascarenhasia lisianthiflora var.	*Godroa*	1	1	1	1
Rauvolfia media Pich.	*Kabokala*	0	1	0	0
Voacanga thouarsii Roem. & Schult.	*Kaboka*	1	1	0	1
Araceae					
Typhonodorum lindleyanum Schott	*Mangoaka*	0	0	1	1
Raphia farinifera (Gaertn.) Hyl.	*Raphia*	1	1	1	1
Asteraceae					
Erigeron naudii (Ed. Bonnet) G. Bonnier	*Jamalanjirika*	0	0	1	0
Vernonia appendiculata Schreb.	*Ambiaty*	0	0	1	0
Boraginaceae					
Cordia myxa L.	*Mality, Tsimiranja*	0	0	0	1

[…]

[…]

Noms scientifiques	Noms vernaculaires	Sites d'étude			
		Ambahiviky	Amboaboaka	Antafihiky	Antrema
Bromeliaceae					
Ananas comosus (L.) Merr.	*Mananasy*	0	0	0	0
Caesalpiniaceae					
Cordyla madagascariensis R. Vig.	*Vaivay*	0	1	0	1
Cunoniaceae					
Weinmannia rutenbergii Engl.	*Seraserandambo*	0	0	1	0
Cyperaceae					
Cyperus articulatus L.	*Voandoa, Beloha*	0	0	1	1
Cyperus prolifer Lam	*Kilololololonjaza*	0	1	0	0
Eleocharis dulcis Min.	*Harefo*	0	0	1	1
Fuirena pubescens (Poir.) Kunth	*Serasera*	0	1	0	0
Euphorbiaceae					
Antidesma petiolare	*Taindalitra*	0	1	0	0
Phyllanthus sp. L.	*Sagnira*	0	0	1	1
Uapaca amplifolia Den.	*Paka*	0	1	0	0
Fabaceae					
Acacia pervillei Bentham	*Rohimena*	0	1	0	0
Acacia mangium Martius	*Roitra maitso*	0	0	0	1
Desmodium ramosissimum	*Kindro*	0	0	0	1
Tamarindus indica L.	*Madiro*	1	1	1	0
Lecythidaceae					
Barringtonia racemosa	*Magnodro*	0	1	0	0

Noms scientifiques	Noms vernaculaires	Sites d'étude			
		Ambahiviky	Amboaboaka	Antafihiky	Antrema
Marattiaceae					
Marattia fraxinea Sm.	*Firitsimpomby*	1	1	1	1
Melastomataceae					
Tristemma veruzianum J. F. Gmel.	*Voatrotroka*	1	1	1	1
Mimosaceae					
Albizia bovini Fourn.	*Kitsakitsa*	0	1	0	0
Moraceae					
Ficus cocculifolia Bak.	*Adabo*	0	1	1	0
Ficus megapoda Bak.	*Mandresy*	0	1	0	0
Nephrolepidaceae					
Nephrolepis undulata Afzel	*Felipomby, Felidrafia*	1	1	1	1
Nymphaeaceae					
Nymphaea stellata Wild	*Voahirana*	1	0	0	0
Onagraceae					
Ludwigia leptocarpa (Nutt.) H. Hara	Rajamena	0	0	1	0
Ludwigia octovalis Jacq.	*Saboamenabazaha*	1	1	0	-
Pandanaceae					
Pandanus dauphinensis Martell	*Fandrana*	1	1	1	0
Papilionaceae					
Mucuna horrida Baill.	*Tainkilotra*	0	1	0	0
Mundulea pauciflora Bak.	*Fanamo*	0	1	1	0

[…]

[…]

Noms scientifiques	Noms vernaculaires	Sites d'étude			
		Ambahiviky	Amboaboaka	Antafihiky	Antrema
Poaceae					
Eleusine indica (L.) Gaertn.	*Tsipiphina*	1	1	0	0
Panicum umbellatum Trin.	*Fandraitendro*	0	0	0	1
Pontederiaceae					
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms	*Agoago*	1	0	0	0
Pteridaceae					
Acrostichum aureum L.	*Korovola, Korompanzava*	0	0	1	0
Cyclosorus dentatus (Forssk.) R. C. Ching	*Ampanganamalona*	0	0	0	1
Polygonum glabrum (Willd.) M. Gómez	*Fotsimbarinakoholahy*	0	0	1	0
Pteris lanceifolia J. Agardh. Sm.	*Korovola, Korompazava*	0	1	0	0
Rubiaceae					
Adina microcephala Delile	*Sohihy*	0	0	1	0
Strelitziaceae					
Ravenala madagascariensis Sonn.	*Ravinala*	1	1	0	1
Thelypteridaceae					
Pneumatopteris unita (Kze.) Holtt.	*Vahindramalony*	1	1	1	1
Zingiberaceae					
Aframomum angustifolium (Sonn.) K. Schum.	*Sento, longozo*	1	1	0	0
Xenorrhaeaceae					
Aloe macroclada L.	*Vahona*	0	0	0	0

1 : présence de l'espèce ; 0 : absence.

Densité et régénération naturelle

La densité des pieds de raphia et la régénération naturelle sont différentes d'un site à un autre (tabl. 2).

Tableau 2
Taux de régénération naturelle des zones à raphia.

Sites d'étude	Individus (ha)		Densité (individus/ha)	Taux de régénération (%)
	Individus régénérés (plantules, jeunes et productifs)	Individus semenciers (mâtures)		
Ambahiviky	1 026	270	1 296	380,00
Amboaboaka	1 680	77	1 757	2 180,81
Antafihiky	829	643	1 472	128,92
Antrema	3 613	425	4 037	850,11

Les sites de Antafihiky, Antrema et Ambahiviky ont un bon taux de régénération, supérieur à 100 %. À Amboaboaka, la régénération est excellente.

Mesure de similitude

L'analyse de similitude des quatre sites d'étude permet de les différencier (tabl. 3).

Tableau 3
Matrice de Sorensen de tous les sites d'études.

	Coefficient de Sorensen (%)			
Sites	**Ambahiviky**	**Antafihiky**	**Antrema**	**Amboaboaka**
Ambahiviky	**100**	42,11	52,63	62,22
Antafihiky		**100**	45,45	39,22
Antrema			**100**	47,06
Amboaboaka				**100**

Ambahiviky présente des similitudes avec Antrema et Amboaboaka, avec des coefficients de similitude supérieurs ou égaux à 50 % (52,63 et 62,22 % respectivement). Le site de Antafihiky ne présente aucune similitude avec les autres sites étudiés.

Usages des zones raphières

Les végétaux des zones raphières sont utilisés à des fins thérapeutiques, alimentaires, de construction ou artisanales.

Usages thérapeutiques

Certaines espèces ont des vertus thérapeutiques, comme *Weinmannia rutenbergii* (décoction pour lutter contre les toux) ou *Aloe maroclada* (contre les douleurs de dos) (tabl. 4).

Le raphia est également utilisé en médecine traditionnelle. Les populations locales font des décoctions des graines ou des fruits du raphia pour soigner la goutte. Les racines sont utilisées pour soigner les plaies, en les broyant puis en les appliquant sur la peau.

Tableau 4
Vertus thérapeutiques des espèces dans les zones raphières.

Noms scientifiques	Parties utilisées	Maladies concernées	Modes de préparation
Abrus precatorius L.	Feuille	Toux sèche	Faire une décoction des feuilles fraîches
Aframomum angustifolium (Sonn.) K. Schum.	Racine, feuille, fruit mûr	Toux	Faire une décoction
Aloe maroclada L.	Feuille	Douleurs de dos, plaies	Appliquer directement la pulpe sur la partie douloureuse et les plaies
Anacardium occidentale L.	Écorce et feuille	Diabète, diarrhées	Faire une décoction
Barringtonia racemosa (L.) Spreng.	Feuille	Maux de ventre	Faire une décoction
Hydrocotyle bonariensis Comm. ex Lam.	Plante entière	Plaies	Appliquer localement
		Maux d'estomac	Faire une décoction
Ludwigia octovalis Jacq.	Feuille et racine	Douleurs menstruelles	Faire une décoction
Mangifera indica L.	Feuille	Maux de ventre, paludisme	Faire une décoction
Pneumatopteris unita (Kze.) Holtt.	Feuille	Douleurs articulaires	Faire une décoction
Psidium guajava L.	Feuille	Maux de dents	Mâcher
Raphia farinifera (Gaertn.) Hyl.	Racine	Plaies	Appliquer sur la plaie
Tamarindus indica L.	Feuille, écorce	Maux d'estomac, diurétique	Faire une décoction
Weinmannia rutenbergii Engl.	Feuille	Toux	Faire une décoction

Services écologiques

Les marécages à raphia de Ambahiviky et Amboaboaka constituent une source d'eau pour les populations locales du *fokontany* Ankilahila. Les populations locales de Antafihiky et de Antrema bénéficient aussi de ce service.

Les fruits des raphias sont collectés pour la consommation des populations locales. Quand ils ne sont pas collectés volontairement, ils assurent la régénération des zones à raphia.

Le bourgeon terminal, ou cœur, est apprécié pendant la période de soudure par les populations locales. Les jeunes frondes des fougères comestibles *Nephrolepis undulata* Afzel., épiphyte du raphia, sont consommées comme légumes par les populations locales, surtout pendant la période de soudure (octobre à mars).

Usages du raphia dans la construction ou l'artisanat

Le raphia est très utilisé dans la construction d'habitations (charpentes, murs, parois, cloisons, etc.), faite avec le *baobao*, ou *maivanat*y, issu du rachis débité (nervure principale) des feuilles. Ces produits sont utilisés également pour délimiter les parcs à bœufs. Le rachis débité en minces lamelles sert également à la confection du van (plateau pour vanner le riz) ou *sahafa*. Les pétioles minces servent de lattes transversales pour la construction des cases traditionnelles. D'autres espèces sont destinées à la construction, comme *Ravenala madagascariensis* pour la construction des maisons traditionnelles.

Le raphia sert également à l'artisanat. La fibre est obtenue à partir de l'épiderme inférieur et du sclérenchyme sous-épidermique (membrane située sous chaque feuille de fronde). La membrane est décollée pour créer une fibre longue et mince appelée « raphia », (*rofia)* utilisée pour la confection des nattes, paniers, vêtements et sacs, ainsi que pour la fabrication de cordage.

La nervure secondaire des feuilles donne le *kira*, sous-produit obtenu après avoir enlevé les fibres. Dans les sites d'étude, le *kira* est utilisé pour la construction du *rovanakoho*, un poulailler de forme pyramidale. Les pêcheurs traditionnels utilisent aussi le *kira* pour la fabrication des nasses (*treko*) et de pièges à poissons (*valankira*)

Le stipe, ou faux tronc du raphia, est utilisé pour confectionner des pots de fleurs ; le stipe est alors coupé et son intérieur est retiré.

Pressions

Deux types de pressions sont observés dans tous les sites d'étude.

Pressions d'origine anthropique

Le feu est le premier facteur de dégradation des marécages à raphia. Les feux sont dus aux éleveurs qui les utilisent pour entretenir et régénérer les pâturages de leurs animaux. Par ailleurs, une exploitation illicite des raphias est pratiquée, surtout en dehors de la période de collecte des pétioles, à Ambahiviky, Amboboaka et Antafihiky.

Pressions d'origine naturelle

Les cyclones, très importants chaque année dans la partie nord-ouest de Madagascar, ravagent les zones raphières. Vents violents et fortes pluies font tomber les pieds et feuilles de raphia, entraînant la fin de leur développement. Les rizières sont ensablées et les jeunes plantules souffrent de la présence des potamochères (piétinement pour chercher leur nourriture).

Discussion et recommandations

La densité des pieds de raphias varie d'un site étudié à un autre. En effet, elle est moyenne à Ambahiviky, Amboaboaka et Antafihiky, alors qu'elle est très élevée à Antrema. Le statut des sites d'étude a un impact sur les densités des pieds de raphia, puisque Antrema est localisé dans une aire protégée. Cela a également été constaté à Ankijabe (district de Ambato Boeni), où la densité est de 2 678 individus/ha dans des raphières gérées par la communauté locale Coba (Étude et Conseils Plus, EC Plus 2001).

La régénération naturelle des zones raphières varie également selon le site d'étude. Le taux de régénération est bon dans les quatre sites, mais Antrema se distingue avec un très bon taux. En effet, dans ce site protégé, les pressions sont moins importantes, en particulier les feux de brousse, ou les piétinements des sangliers.

Les zones à raphia sont des formations forestières très riches qui abritent des espèces endémiques. La forêt marécageuse de Hlanzoun, l'une des dernières forêts marécageuses du Sud-Bénin, dispose également d'une flore et d'une faune riches et uniques. Cette riche biodiversité est encore largement méconnue (Alladatin, 2011).

Le feu provoque la perte de nombreuses espèces dans ces zones. Allumés la plupart du temps par les éleveurs (feux de pâturage), ces feux sont parfois incontrôlés et se transforment en feux de forêt (MEFT et CI, 2009), causant des dégâts importants dans les peuplements naturels. Les pressions naturelles ne sont également pas négligeables, celles des cyclones en particulier qui ravagent régulièrement les zones raphières (Rakotoarinivo, 2008).

Concernant les usages, le raphia est très utilisé par les populations des sites étudiés, en médecine traditionnelle ou pour la construction et l'artisanat. Ratsirarson (1998) a également cité l'utilisation du raphia à Madagascar pour la fabrication de cordage et de mobilier, en vannerie pour la confection de chapeaux, de corbeilles, de sandales ou de revêtements muraux, mais aussi pour faire les toitures des cases d'habitation (avec les feuilles), etc. En Afrique sahélienne, le raphia est également très utilisé dans la vie quotidienne des populations locales, ainsi qu'en médecine traditionnelle (Pousset, 1998). Les

pétioles de raphia sont également utilisés en Guinée pour faire les nasses de pêche et pour fabriquer des lits traditionnels (*tara*) (Ouattara *et al.,* 2014).

Tenant compte de ce contexte et pour pérenniser les zones à raphia, il est nécessaire qu'elles soient gérées par les communautés locales qui sont les plus à même de mettre en œuvre des mesures de protection. La restauration des zones raphières dégradées doit se faire dans chaque localité, afin de préserver la richesse floristique.

Le contrôle des feux et le respect de la période de collecte des pétioles sont à préconiser. Même si les communautés locales sont déjà formées, le renforcement de leurs capacités est nécessaire en matière de conservation biologique, d'exploitation et de valorisation durables.

Conclusion

Ce travail s'est fixé comme objectif d'approfondir les connaissances sur les zones raphières malgaches en vue de contribuer à leur conservation et à leur gestion durable. Notre étude a été menée dans la partie ouest de Madagascar, dans la région de Boeny, où les surfaces raphières sont très importantes. Le genre *Raphia* est probablement le palmier le plus utilisé et le plus exploité des zones tropicales d'Afrique et de l'océan Indien intertropical.

Outre le raphia, les autres espèces végétales, parfois endémiques, présentes dans les raphières de Madagascar offrent également de nombreux avantages et fournissent divers produits utiles dans la vie quotidienne des communautés locales.

Le travail de terrain a permis de relever de nombreuses données floristiques sur les zones à raphia, ce qui a permis d'estimer l'état de leur dégradation et de préconiser des mesures adaptées pour inverser cette tendance. D'importantes informations sur les usages ont été obtenues auprès des communautés locales.

Ce travail montre que différents facteurs interviennent dans le développement et la conservation des raphias. Il est donc primordial que toutes les parties prenantes (État, communautés locales, collecteurs, populations) soient sensibilisées à la préservation et à la conservation de cette ressource naturelle. L'amélioration de l'état des zones raphières est cruciale ; elle peut se faire par leur restauration grâce à des reboisements de jeunes plants et par la régénération naturelle, par l'exploitation rationnelle des pétioles, ainsi que par la formation et/ou le renforcement des capacités des communautés locales sur les pratiques d'exploitation des raphias. Pour conserver et gérer de façon rationnelle et durable les zones raphières, la sensibilisation des populations locales au respect du calendrier d'exploitation des feuilles de raphia est très importante. Il est également nécessaire de les inciter à réduire la dégradation de ces zones.

Remerciements

Nous tenons à remercier le comité d'évaluation du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D). Nos remerciements vont aussi à toutes les personnes qui ont apporté leur contribution au travail de terrain.

Références bibliographiques

Alladatin J., 2011
L'exploitation du raphia dans la forêt marécageuse Halanzoun : entre contribution au développement socio-économique et dégradation des ressources naturelles, *Open Édition Journals*, 20.

Braun-Blanquet, 1965
Plant sociology. The study of plant communities. Hafner publishing company, New York and London, 439 p.

Duvigneaud P., 1980
La synthèse écologique. Populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère. Dion éditions, Paris, 380 p.

EC Plus (Études et Conseil Plus), 2001
Étude sur la filière raphia dans les ZSI d'Ankazomborona, Ankijabe, Tsararano Mahajanga. Rapport final. LDI, Cirad, Antananarivo, 72 p.

Green G. M., Sussman R. W., 2004
Deforestation history of the eastern rain forests of Madagascar from satellites images. *Sciences, New Series*, 248 (4952) : 212-215.

Gueye B., 1991
Introduction à la méthode accélérée de recherche participative (Marp/Rapid rural appraisal (RRA) : quelques notes pour appuyer une formation pratique. IIED, Londres, 73 p.

MEFT, CI, 2009
Évolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar, 1990-2000-2005. 58 p. + annexes.

Ouattara D. N, Stauffer F. W., Bakayoko A., 2014
Lectotypification de *Raphia sudanica* A. Chev. (Arecaceae, Calamoideae), avec commentaires sur la biologie et la conservation de l'espèce. *Adansonia*, 36 (1) : 53-61.

Pousset J. L, 1998
Plantes médicinales africaines. Utilisation pratique. Agence de coopération culturelle et technique (ACCT), éditions Ellipses Marketing, 156 p.

Rakotoarinivo M., 2008
Analyse de la distribution et de la conservation des palmiers (Arecaceae) de Madagascar par l'utilisation du système d'information géographique. Thèse de doctorat, département Biologie et Écologie végétale, faculté des Sciences, université d'Antananarivo. 203 p.

Ratsirarson J., 1998
« Les palmiers ». *In Recherche pour le développement,* ministère de la Recherche scientifique, Antananarivo, série Sciences biologiques, 14 : 101-106.

Rollet B., 1983
Régénération naturelle dans les trouées. Un processus général de la dynamique des forêts tropicales humides. *Bois et forêts des tropiques,* 201 : 3-19.

Rothe P. L., 1964
Régénération en forêt tropicale. Le « *Dipterocarpus deyrei* » sur le versant cambodgien du Golfe de Siam. *Bois et forêts des tropiques* : 386-397.

Sorensen T., 1948
A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biologiske Skrifter, B Ind V, Nr. 4, Copenhagen. 44 p.

Chapitre 23

Évaluation des huiles extraites de différentes espèces de *Millettia* (Fabaceae) de Madagascar

Herizo Randriambanona
CNRE, Madagascar

Nambinina Andry Mihajamanana
CNRE, Université d'Antananarivo, Madagascar

Felana Niaina Joseph Rakoto
CNRE, Université d'Antananarivo, Madagascar

Martial Doret Andrianandrasana
CNRE, Madagascar

Rolland Ratsito
Canopy Energie, Madagascar

Rondro H. Baohanta
CNRE, Madagascar

Faly Randriatafika
Rio Tinto QMM, Madagascar

Jean Baptiste Ramanamanjato
Tropical Biodiversity & Social Enterprise, Madagascar

Heriniaina Ramanankierana
CNRE, Madagascar

Introduction

Depuis la première crise pétrolière des années 1970, la recherche d'une alternative au pétrole est devenue une priorité pour la majorité des pays dans le monde. La hausse du prix du pétrole, l'épuisement des réserves de pétrole et les problèmes environnementaux liés aux combustibles fossiles sont les principaux facteurs qui ont conduit à rechercher une source d'énergie alternative (Hasheminejad *et al*., 2011, Kesari et Rangan, 2011). Les biocarburants représentent l'une des alternatives les plus courantes pour la substitution à grande échelle des carburants conventionnels (Kaup et Selbmann, 2013), surtout quand les plantes ne sont pas comestibles. Ainsi, les graines oléagineuses non comestibles de *Jatropha curcas, Calophyllum inophyllum, Ceiba pentandra*, *Millettia pinnata*, etc., sont considérées comme des matières premières durables pour le biocarburant (Tabatabaei *et al*., 2015).

La production mondiale de biocarburants a augmenté avec un taux de croissance annuel de 11,4 %, passant de 64 milliards de litres produits en 2007 à plus de

145 milliards de litres en 2017 (BP, 2018 *In* The University of British Columbia, 2019). Dans ce contexte, les huiles végétales et leurs dérivés pourraient être des solutions rentables et accessibles à tous les pays (Gopalkrishnan et Rao, 1996 ; Banwal et Sharma, 2004) afin d'anticiper l'épuisement des ressources pétrolières. *Millettia pinnata* (L.) Pierre (ou *Karanja*) produit des graines dont l'huile non comestible est utilisée pour fabriquer du biodiesel (Mukta *et al.,* 2009). C'est donc un candidat potentiel pour la production d'énergies renouvelables (Scott *et al.,* 2008). En effet, l'huile de *Millettia pinnata* est biodégradable et a été identifiée comme l'une des meilleures alternatives aux produits pétrochimiques (Naik *et al.,* 2008). *Millettia pinnata* pousse en Inde, en Asie (Chine, Malaisie, Indonésie, Japon, Philippines), en Polynésie et dans les régions tropicales d'Australie (Queensland et le territoire du Nord) ; elle a été introduite en Nouvelle-Zélande et aux États-Unis (Scott *et al.,* 2008). Cette plante se développe également sur la côte est de Madagascar et dans l'île Sainte-Marie. À Madagascar, il existe huit espèces de *Millettia* endémiques, dont *Millettia capuronii* Du Puy & Labat et *M. taolanaroensis* Du Puy & Labat. Toutefois, aucune étude n'a été jusqu'à présent réalisée sur la production d'huile végétale à partir de graines de ces espèces de *Millettia*. Ainsi, cette étude a eu pour objectif d'évaluer les qualités des huiles extraites de graines de *Millettia pinnata*, *M. capuronii* et *M. taolanaroensis* collectées à Madagascar pour un usage en biocarburant.

Matériels et méthodes

Matériels végétaux

Millettia pinnata (*Karanja*) (MP) est un arbre originaire de diverses régions humides et subtropicales de l'Asie (Inde et tout le sud-est asiatique). Il est naturalisé sur les côtes est (Cap Est) de Madagascar et à l'île Sainte-Marie. C'est un arbre à croissance rapide qui a la capacité d'entrer en symbiose avec certains champignons du sol afin d'engendrer sa propre fertilisation. MP produit une huile non comestible, riche en acides gras C18:1 (acide oléique), aux propriétés utiles pour la fabrication de biodiesel.

Millettia capuronii (*Sikidihazo*) (MC) est une espèce endémique de Madagascar. Son aire de répartition est située dans la région côtière à l'est, y compris Taolagnaro, Farafangana et Sambava. C'est un arbre à feuilles caduques et d'une hauteur de 4 à 8 m. Il fleurit à partir du mois d'avril et ses fruits sont mûrs au mois d'octobre ; son bois est utilisé pour la construction de maisons et de meubles.

Millettia taolanaroensis (*Mahavalia* ou *Anakaraka*) (MT) est également endémique de Madagascar. Cette espèce est distribuée dans la partie sud-est de Madagascar, particulièrement à Petriky (Taolagnaro, dans les plaines côtières

au nord et dans les pentes inférieures des montagnes à l'ouest, y compris Andohalela). C'est un arbuste à feuilles caduques ou un petit arbre de 4 à 6 m de hauteur. Il fleurit à partir du mois de janvier (fleurs de couleur mauve ou violette) et les fruits mûrissent à partir du mois d'août. Les feuilles sont utilisées comme poison pour les poissons.

Collecte des graines et extraction d'huile

Les graines de MP de stade 2 (180 jours après la floraison selon Singha *et al*., 2019) ont été collectées à Ambodirafia (S 14°56'43,3" ; E 50°17'56,3", altitude de 1 m) dans la région Sava au nord-est de Madagascar, au mois de juin 2018. Les graines de MC ont été collectées à Sainte Luce (S 24°48"08,6" ; E 47°09'48,0", altitude de 1 m) et celles de MT à Petriky (S 25°03'32", E 46°52'05", altitude de10 m) dans la région Anosy au sud-est de Madagascar en octobre 2018.

Dans chaque site, la collecte a été effectuée sur 10 à 15 pieds à raison de 30 à 500 graines par pied. Le solvant n-hexane (trois répétitions par espèce) a été utilisé pour extraire l'huile des graines ; les masses de départ étaient de 50 g de poudre de graines broyées mécaniquement dans 300 ml de solvant. La teneur en huile a été déterminée en utilisant la formule suivante :

$$R\% = \frac{M2 - M1}{PE} \times 100$$

où *R%* est le rendement d'huile, M_2 la masse en g du ballon contenant l'huile, M_1 la masse en g du ballon vide et *PE* la masse en g de la prise d'essai.

Détermination des propriétés physicochimiques des huiles

Les propriétés physiques des huiles considérées pour chaque espèce de *Millettia* sont la densité, l'indice de réfraction, l'indice de cétane et le pouvoir calorifique inférieur.

La densité a été déterminée par la méthode normalisée NF-T 75-111 (Afnor, 1993), l'indice de réfraction selon la méthode normalisée NF-T 75-112 (Afnor, 1993), l'indice de cétane par la formule de Klopfenstein (Sankara *et al.,* 1971) et le pouvoir calorifique inférieur par l'utilisation de l'équation empirique suivante :

$$PCI = 11\,380 - Ii - 9{,}15 \times Is$$

où *Ii* est l'indice d'iode et *Is* l'indice de saponification.

Les propriétés chimiques des huiles considérées pour chaque espèce de *Millettia* évaluées sont l'indice d'acide, l'indice d'ester, l'indice de saponification et l'indice d'iode. L'indice d'acide a été déterminé selon la norme NF-T 75-103 (Afnor, 1993), l'indice d'ester par la méthode normalisée NF-T 75-104 (Afnor, 1993). L'indice de saponification a été calculé par la formule suivante :

$$\text{Indice de saponification} = \text{indice d'ester} + \text{indice d'acide}$$

L'indice d'iode a été calculé par la méthode de Hübl (1884) qui définit l'indice d'iode comme étant la masse en gramme d'iode fixé sur les doubles liaisons présentes dans 100 g de corps gras.

Analyse des données

Des analyses de variance (Anova) avec des tests de Newman-Keuls (p = 0,05) ont permis de détecter les différences entre les valeurs de paramètres physiques et chimiques des huiles obtenues selon les espèces. Ainsi, les moyennes repérées par une même lettre représentent les groupes statistiquement homogènes (voir Résultats). Le logiciel XLSTAT-Pro 2018 a été utilisé.

Résultats

Teneur en huile des graines

L'huile de MP est de couleur jaune poussin et a une odeur désagréable ; celle de MC est vert pâle et son odeur est proche de celle du fruit de la passion. L'huile MT est de couleur jaune orangé et son odeur est similaire à celle de MC.

La teneur en huile des graines de chaque espèce de *Millettia* obtenue par extraction avec un solvant (n-hexane) est présentée dans la figure 1. Une différence significative est observée entre le rendement en huile des graines. Les graines de MC possèdent le rendement en huile le plus élevé (48,27 %), suivies des graines de MT (43,78 %) alors que celles de MP présentent le rendement en huile le plus faible (36,19 %).

Figure 1

Rendement en huile des graines de chaque espèce de Millettia *après séchage.*
*MP (*Millettia pinnata*), MC (*Millettia capuronii*), MT (*Millettia taolanaroensis*) (N = 3).*

Les moyennes repérées par une même lettre (a, b, c) représentent les groupes statistiquement homogènes au seuil de probabilité de 0,05 d'après le test de Newman-Keuls.

Propriétés physiques des huiles

Une différence significative est observée entre la densité et l'indice de cétane d'huile selon l'espèce de *Millettia*. L'huile de MP est plus dense que celle de MC et de MT. Il en est de même pour l'indice de réfraction (tabl. 1). Ce tableau montre également que le pouvoir calorifique inférieur des huiles augmente avec l'indice de cétane. L'indice de cétane et le pouvoir calorifique inférieur de l'huile de MT sont plus élevés que ceux de l'huile de MC et de MP. Les valeurs sont respectivement de 66,36, 65,41 et 54,62 pour l'indice de cétane et 42,12 MJ/kg, 41,85 MJ/kg et 40,31 MJ/kg pour le pouvoir calorifique inférieur.

Tableau 1
Caractéristiques physiques des huiles.
*MP (*Millettia pinnata*), MC (*Millettia capuronii*), MT (*Millettia taolanaroensis*).*

Caractéristiques	MP	MC	MT
Densité à 20 °C (g/cm^3)	0,918 ± 0,0004(a)	0,874 ± 0,0007(b)	0,864 ± 0,0008(c)
Indice de réfraction à 20 °C	1,475 ± 0,0003(a)	1,463 ± 0,0015(b)	1,46 ± 0,0005(b)
Indice de cétane	54,62	65,41	66,36
Pouvoir calorifique inférieur (MJ/kg)	40,31	41,85	42,12

Les moyennes repérées par une même lettre (a, b, c) représentent les groupes statistiquement homogènes au seuil de probabilité de 0,05 d'après le test de Newman-Keuls.

Propriétés chimiques des huiles

L'indice d'acide de l'huile de MP est faible par rapport à ceux des huiles de MC et de MT (tabl. 2) ; les valeurs sont respectivement de 5,92 mg KOH/g d'huile, 7,3 mg KOH/g d'huile et 6,43 mg KOH/g d'huile. Ce tableau montre également que l'indice d'ester, l'indice de saponification et l'indice d'iode de l'huile de MP sont plus élevés que ceux de MC et de MT. Une différence significative est observée entre les propriétés des huiles selon l'espèce de *Millettia* étudiée.

Tableau 2
Caractéristiques chimiques des huiles.
*MP (*Millettia pinnata*), MC (*Millettia capuronii*), MT (*Millettia taolanaroensis*).*

Caractéristiques	MP	MC	MT
Indice d'acide (mg KOH/g)	5,92 ± 0,193(b)	7,3 ± 0,155(a)	6,43 ± 0,177(b)
Indice d'ester	173,23 ± 1,794(a)	132,7 ± 0,953(b)	125,25 ± 0,944(c)
Indice de saponification	179,15 ± 1,661(a)	139,96 ± 0,835(b)	132,4 ± 0,78(c)
Indice d'iode	98,39 ± 0,02(a)	88,35 ± 0,026(b)	94,1 ± 0,155(b)

Les moyennes repérées par une même lettre (a, b, c) représentent les groupes statistiquement homogènes au seuil de probabilité de 0,05 d'après le test de Newman-Keuls.

Discussion

Rendement d'huile

Le MP de Madagascar (36,19 %) a un rendement plus élevé que celui de MP de l'Inde (25 à 31 %) (Bobade et Khyade, 2012a ; Prakash *et al.,* 2016). Par ailleurs, pour les espèces MC et MT endémiques malgaches, ces rendements sont supérieurs à ceux de MP obtenus par Nabi *et al.,* (2009) et Murphy *et al.* (2012), qui varient de 38 à 40 %.

Densité

Les densités d'huile de MP, MC et MT sont respectivement de 0,918 g/cm^3, 0,874 g/cm^3 et 0,864 g/cm^3. Ces valeurs sont inférieures à celles de MP obtenues par Bobade et Khyade (2012a) (0,924 g/cm^3) et par Prakash *et al.* en 2016 (0,92 g/cm^3). Par ailleurs, l'huile de *Millettia* de Madagascar est moins dense que celle du *Millettia* indien.

Pourtant, la densité de l'huile de MP à Madagascar est trop élevée pour une automobile à carburant diesel selon les exigences actuelles de l'American Society for Testing and Materials (ASTM International) et les spécifications européennes (EN 590 : 2013), ainsi que par rapport aux gammes acceptables de pétrodiesel (densité de 0,82 à 0,845 kg/l). En revanche, la densité de l'huile de MC endémique malgache s'en rapproche. Ainsi, l'huile des *Millettia* malgaches (MC) pourrait être utilisée comme carburant diesel.

Indice de réfraction

Les indices de réfraction des huiles de MP, MC et MT sont respectivement de 1,475 ; 1,463 et 1,46. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles trouvées par Vigya *et al.* en 2010 (1,478 à 28,6 °C) pour MP en Inde. Compte tenu de son indice de réfraction, l'huile de MP peut être classée parmi les huiles semi-siccatives, alors que les huiles de MC et de MT peuvent être classées parmi les huiles non-siccatives.

Indice de cétane

La connaissance de l'indice de cétane (IC) conditionne l'utilisation de l'huile comme carburant. Les indices de cétane des huiles de MP, MC et MT de Madagascar sont respectivement de 55, 65 et 66. Ces valeurs sont plus élevées que celles obtenues en Inde par Bobade et Khyade (2012a) (IC de 42) et par Ashish et Balwinder (2018) (IC de 38). De ce fait, la combustion de l'huile des espèces de *Millettia* de Madagascar est plus facile que celle des *Millettia* indiens. En effet, selon Aliou (1996), plus l'indice de cétane est élevé, plus la combustion est facile. Les IC de l'huile des *Millettia* de Madagascar sont

largement supérieurs aux gammes acceptables du pétrodiesel (IC ≥ 48) selon les exigences actuelles de l'ASTM et les spécifications européennes (prEN:590:2003) pour une automobile à carburant diesel. L'huile des trois espèces de *Millettia* étudiées est donc utilisable comme biocarburant.

Pouvoir calorifique inférieur

Le pouvoir calorifique inférieur mesure l'énergie libérée lors de la combustion d'huile. Les pouvoirs calorifiques des huiles de chaque espèce (MP, MC et MT) sont respectivement de 40,31 MJ/kg, 41,85 MJ/kg et 42,12 MJ/kg. Ces valeurs sont faibles par rapport aux résultats de Vigya *et al.* en 2010 (44,34 MJ/kg) et élevées par rapport à celles obtenues par Bobade et Khyade (2012b) (36,54 MJ/kg). L'huile des espèces de *Millettia,* endémiques de Madagascar (MC et MT), libère plus d'énergie lors de la combustion que celle de l'espèce introduite MP.

Indice d'acide

Les indices d'acide des huiles de MP, MC et MT sont respectivement de 5,92 mg KOH/g, 7,3 mg KOH/g et 6,43 mg KOH/g. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues pour MP en Inde par Bobade et Khyade (2012a et b) (5,4 mg KOH/g) et largement inférieures à celles de Prakash *et al.* en 2016 (38,2 mg KOH/g). De ce fait, les huiles des espèces malgaches renferment beaucoup d'acides gras libres par rapport à l'huile de MP indien et en contiennent peu par rapport à l'huile de *M. pinnata curcus* (une variété selon Prakash *et al*., 2016).

Indice de saponification

Les indices de saponification des huiles de MP, MC et MT de Madagascar sont respectivement de 180, 140 et 132. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles de MP en Inde trouvées par Bobade et Khyade (2012a et b) (184) et par Prakash *et al.* en 2016 (195). Ainsi, l'huile des espèces de *Millettia* de Madagascar est moins saponifiable que celle de MP indien. Cependant l'huile de l'espèce de *Millettia* introduite (MP) est plus saponifiable que l'huile des espèces autochtones de Madagascar (MC et MT).

Indice d'ester

L'indice d'ester de l'huile de MP est de 173,23 et ceux de MC et MT sont respectivement de 132,7 et 125,25. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles d'autres huiles végétales, en l'occurrence l'huile de baobab (224,8) selon Alioune *et al.* (2018). De plus, l'huile des espèces endémiques de Madagascar (MC et MT) est moins estérifiable par rapport à celle de MP, espèce introduite.

Indice d'iode

Les indices d'iode des huiles de MP, MC, MT de Madagascar sont respectivement de 98,39, 88,35 et 94,1. Ces valeurs sont supérieures à celles trouvées pour MP

en Inde par Bobade et Khyade (2012a) (87) et par Pavithra *et al.,* 2012 (87,69). Ainsi, l'huile des espèces malgaches contient beaucoup plus d'acides gras insaturés par rapport à l'huile de MP de l'Inde. L'huile des espèces endémiques de Madagascar (MC et MT) renferment peu d'acides gras libres par rapport à celle de MP, espèce introduite. Ces différences peuvent être dues aux conditions écologiques (facteur édaphique et environnemental local) différentes et aux semences qui proviennent de différents génotypes (Vigya *et al.,* 2010).

Potentialité des *Millettia* à Madagascar

Les espèces de *Millettia* ont de multiples usages : sources de biocarburant, phyto-remédiation, médicaments, etc. Kesari *et al.* (2010) ont montré que l'huile de MP présente également une activité antifongique et antibactérienne à différentes concentrations. Par exemple, à une concentration de 90 %, l'huile de MP est efficace contre *Listeria monocytogens* et *Salmonella paratyphi*. Les racines de MP contiennent des produits anti-inflammatoires, en l'occurrence des flavonoïdes (Wen *et al*., 2018). Les tourteaux de graines de MP (avec une proportion adéquate) sont également de bons produits pour l'alimentation animale (Jathanna *et al*., 2020).

La dépollution des sols contaminés du site minier de QMM à Taolanaro (zone d'étude) après l'extraction d'ilménite et de zircon, par la plantation de *Millettia,* en particulier MP, est envisageable. Selon Yu *et al*. (2019), MP, utilisé en phyto-remédiation, est capable de dépolluer un site de magnétite de vanadium-titane. Deux années après la plantation de MP, ces mêmes auteurs ont rapporté que la santé des sols a été considérablement améliorée grâce à l'augmentation des teneurs en N (de 75,43 %) et P disponibles (de 38,97 %), et que les activités enzymatiques des micro-organismes du sol ont été réactivées.

Conclusion

Pour conclure, les caractéristiques physicochimiques de l'huile de *Millettia* de Madagascar diffèrent selon les espèces étudiées. *Millettia pinnata*, plante introduite à Madagascar, fournit une huile caractérisée par un indice d'acide, un indice de cétane et un pouvoir calorifique inférieur faibles. En revanche, *Millettia capuronii* et *Millettia taolanaroensis*, espèces endémiques de Madagascar, fournissent une huile caractérisée par une faible densité, un indice de cétane élevé et un pouvoir calorifique inférieur élevé. L'huile fournie par MC et MT est donc un biocarburant de bonne qualité, comparée à l'huile extraite de MP*,* espèce introduite à Madagascar. En outre, faciles à cultiver, ces espèces de *Millettia* ont des vertus écologiques, médicinales et industrielles et méritent d'être exploitées.

Remerciements

Nous remercions le projet « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour avoir financé cette recherche via le projet « Mi-Restaure » (Millettia Restauration) n° AAP2-98.

Références bibliographiques

Afnor (Association française de normalisation), 1993
Recueil de normes françaises. Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés.
5e édition, Afnor, Paris.

Aliou O. H., 1996
Valorisation d'une huile végétale tropicale : l'huile de pourghère. Mémoire de maîtrise ès Sciences appliquées, université de Sherbrooke, Canada, 121 p.

Alioune S., Cisse M., Ayessou N. C., Sakho M., Codou M. D., 2018
Le baobab (*Adansonia digitata* L.) : variabilité des graines, procédés d'extraction et propriétés physico-chimiques de l'huile. *International Journal of Innovation and Scientific Research,* 39 (1) : 24-36.

Ashish G., Balwinder S., 2018
Karanja biodiesel. A future alternative oil with high efficiency and improved performance parameters with diesel blends. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 8 (6) : 1577-1580.

Banwal B. K., Sharma M. P., 2004
Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 9 (2005) : 363-378.

Bobade S. N., Khyade V. B., 2012a
Detail study on the properties of *Pongamia pinnata* (Karanja) for the production of biofuel. *Research Journal of Chemical Sciences,* 2 (7) : 16-20.

Bobade S. N., Khyade V. B., 2012b
Preparation of methyl ester (biodiesel) from Karanja (*Pongamia pinnata*) oil. *Research Journal of Chemical Sciences,* 2 (8) : 43-50.

Gopalkrishnan K. P., Rao P. S., 1996
Use of non-edible vegetable oil as alternate fuels in diesel engines. DNES project report I. C. E. lab, Madras, 36.

Hasheminejad M., Tabatabaei M., Mansourpanah Y., Javani A., 2011
Upstream and downstream strategies to economize biodiesel production. *Bioresource technology*, 102 (2) : 461-468

Hübl A.,1884
Journal of the Society of Chemical Industry, London : 641-3.

Jathanna H. M., Rao C. V., Goveas L. C., 2020
Exploring *Pongamia* seed cake hydrolysate as a medium for microbial lipid production by *Aspergillus ochraceus. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,* 24 : 101543. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101543

Kaup F., Selbmann K., 2013
The seesaw of Germany's biofuel policy. Tracing the evolvement to its current state. *Energy Policy*, 62 : 513-521. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.024

Kesari V., Das A., Rangan L., 2010
Physico-chemical characterization and antimicrobial activity from seed oil of *Pongamia pinnata*, a potential biofuel crop. *Biomass and Bioenergy*, 34 : 108-115.

Kesari V., Rangan L., 2011
Genetic diversity analysis by RAPD markers in candidate plus trees of *Pongamia pinnata*, a promising source of bioenergy. *Biomass and Bioenergy,* 35 : 3123-3128.

Mukta N., Murthy I. Y. L. N., Sripal P., 2009
Variability assessment in *Pongamia pinnata* (L.) Pierre germplasm for biodiesel traits. *Industrial Crops Products,* 29 : 536-540.

Murphy H. T., O'connell D. A., Seaton G., Raison R. J., Rodriguez L. C., Braid A. L., Kriticos D. J., Jovanovic T., Abadi A., Betar M., Brodie H., Lamont M., Mc Kay M., Muirhead G., Plummer J., Arpiwi N. L., Ruddle B., Saxena S., Scott P. T., Stucley C., Thistlethwaite B., Wheaton B., Wylie P., Gresshoff P. M., 2012
A common view of the opportunities, challenges and research actions for *Pongamia* in Australia. *Bioenergy Research,* 5 (3) : 778-800.

Nabi N., Najmul H., Shamim A., 2009
Karanja (*Pongamia pinnata*) biodiesel production in Bangladesh, characterization of Karanja biodiesel and its effect on diesel emissions. *Fuel Processing Technology*, 90 (9) : 1080-1086.

Naik M., Meher L. C., Naik S. N., Dasa L. M., 2008
Production of biodiesel from high free fatty acid karanj (*Pongamia pinnata*) oil. *Biomass and Bioenergy,* 32 : 354-357.

Pavithra H. R., Balakrishna G., Rajesh K. K., Prasanna K. T., Shivanna M. B., 2012
Oil fatty acid profile and karanjin content in developing *Pongamia pinnata* (L.) Pierre seeds. *Journal of American Oil Chemistry Society,* 89 : 2237-2244.

Prakash S. R., Aravindhkumar R., Madhav R., Vinoth B., 2016
Biodiesel production from *Millettia pinnata* oil and its characterization. *International Research Journal of Engineering and Technology,* 3 (9) : 512-516.

Sankara S., Nagarajan J., Sulochanan N., 1971
Flavonoïds of some Euphorbiaceous plants phytochemistry. *Phytochemistry*, 10 (10) : 2548-2549. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89910-0

Scott P. T., Pregelj L., Chen N., Hadler J. S., Djordjevic M. A., Gresshoff P. M., 2008
Pongamia pinnata: an untapped resource for the biofuels industry of the future. *Bioenergy Research,* 1 : 2-11.

Singha K. T., Sreeharsha R. V., Mariboina S., 2019
Dynamics of metabolites and key regulatory proteins in the developing seeds of *Pongamia pinnata*, a potential biofuel tree species. *Industrial Crops and Products*, 140 : 111621. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111621

Tabatabaei M., Karimi K., Sarvari Horvath I., Kumar R., 2015
Recent trends in biodiesel production. *Biofuel Research Journal,* 7 : 258-267. DOI : 10.18331/BRJ2015.2.3.4

The University of British Columbia, 2019
Bioenergy policy. https://bioenergy.ubc.ca/bioenergy-policy-and-technoeconomics/

Vigya K., Archana D., Latha R., 2010
Physico-chemical characterization and antimicrobial activity from seed oil of *Pongamia pinnata*, a potential biofuel crop. *Biomass and Bioenergy,* 34 : 108-115.

Wen R., Hai-Ning Lv, Jiang Y., Tu P-F., 2018
Anti-inflammatory flavone and chalcone derivatives from the roots of *Pongamia pinnata* (L.) Pierre. *Phytochemistry*, 149 : 56-63. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.02.005

Yu X., Kang X., Li Y., Cui Y., Tu W., Shen T., Yan M., Gu Y., Zou L., Ma M., Xiang Q., Zhao K., Liang Y., Zhang X., Chen Q., 2019
Rhizobia population was favoured du ring *in situ* phytoremediation of vanadium-titanium magnetite mine tailings dam using *Pongamia pinnata. Environmental pollution,* 255 : 113167. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113167

Chapitre 24

Séchage des graines de *Millettia pinnata* L., Madagascar

Influence sur le rendement et la qualité de son huile

Nambinina Andry Mihajamanana
Université d'Antananarivo, Madagascar

Felana Niaina Joseph Rakoto
Université d'Antananarivo, Madagascar

Martial Doret Andrianandrasana
CNRE, Madagascar

Rondro Harinisainana Baohanta
CNRE, Madagascar

Rolland Ratsito
Energy Canopy, Madagascar

Faly Randriatafika
QMM Rio Tinto, Madagascar

Rivo Andriamaro Rajoharison
Tropical Biodiversity
& Social Enterprise, Madagascar

Tsoushima E. Razakatiana
CNRE, Madagascar

Heriniaina Ramanankierana
CNRE, Madagascar

Herizo Randriambanona
CNRE, Madagascar

Introduction

Dans un monde où l'énergie est devenue une préoccupation essentielle pour les acteurs économiques, les biocarburants connaissent un développement sans précédent depuis les années 1990. Cette évolution, encouragée par des mesures politiques, vise à la fois à diminuer la dépendance énergétique vis-à-vis des ressources d'origine fossile et à limiter les émissions de gaz à effet de serre, dont l'influence sur le réchauffement climatique est reconnue par l'ensemble de la communauté scientifique (Sidibe *et al.,* 2010). En effet, les biocarburants figurent parmi les solutions jugées efficaces pour contribuer à la lutte contre la dégradation de l'environnement, en particulier contre l'émission de gaz à effet de serre.

Plusieurs recherches ont identifié des plantes capables de produire des biocarburants afin qu'ils se substituent aux combustibles fossiles, dont l'épuisement est annoncé dans les années 2050. Parmi ces nombreuses plantes productrices de biocarburant, *Millettia pinnata* figure parmi les rares plantes non alimentaires. En effet, l'huile non comestible de *M. pinnata* est éprouvée comme source de carburant alternatif du gasoil pétrolier. Il s'agit également de l'une des espèces d'arbres de la famille des légumineuses (Fabaceae), peu nombreuses, dont les graines contiennent un taux d'huile estimé entre 18 et 27 % (Lakshmikanthan, 1978). Espèce à usages multiples, *M. pinnata* est également utilisée pour l'aménagement paysager urbain et pour la bio-amélioration des terres dégradées (Paul *et al.,* 2008). C'est aussi une plante médicinale importante utilisée comme anti-inflammatoire (Srinivasan *et al.,* 2001), antiplasmodial (Simonsen *et al.,* 2001), anti-hyperammonique et antioxydant (Essa et Subramanian 2006), anti-diarrhéique (Brijesh *et al.,* 2006), anti-ulcéreux (Prabha *et al.,* 2003 ; Punitha et Manoharan 2006), anti-lipidoxydatif, anti-hyper-glycémique (Vismaya *et al.,* 2010) et anti-poux (Samuel *et al.,* 2009).

À Madagascar, aucune recherche n'a été réalisée sur les techniques permettant d'obtenir une huile de *M. pinnata* de bonne qualité et un bon rendement. Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet du type de séchage des graines de *M. pinnata* sur le rendement et la qualité de son huile. L'hypothèse est la suivante : le type de séchage des graines de *M. pinnata* à Madagascar influence le rendement et la qualité de son huile et, *in fine*, la qualité du biocarburant.

Matériels et méthodes

Matériel végétal

Millettia pinnata est originaire de diverses régions humides et subtropicales de l'Asie (Inde et tout le Sud-Est asiatique, fig. 1). À Madagascar, il existe huit espèces de *Millettia* endémiques : *M. capuronii*, *M. taolanaroensis*, *M. hitsika*, *M. richardiana*, *M. aurea*, *M. lenneoides*, *M. orientalis* et *M. nathaliae*. *Millettia pinnata* est la 9e espèce de *Millettia* à Madagascar. C'est une espèce naturalisée sur les côtes est de Madagascar (Cap-Est).

C'est un arbre à croissance rapide qui a la capacité d'entrer en symbiose avec certains champignons du sol, générant ainsi sa propre fertilisation. En plus de sa capacité à pousser sur des terres dégradées, *M. pinnata* a la particularité de produire une huile non éligible à l'alimentation (humaine ou animale), riche en acides gras C18 1 (acide oléique), ce qui la rend particulièrement adéquate pour la fabrication de « biodiesel » (les biocarburants gazole).

Figure 1
Zone de répartition de Millettia pinnata.
Source : Discover Life (2017).

Méthodes

Récolte et séchage des graines

Les graines ont été collectées à Ambodirafia, une commune rurale d'Ambohitralalana (latitude de 15°16'07,7" Sud et longitude de 50°28'55,5" Est, altitude de 7 m), dans le district d'Antalaha (région de Sava).

Avant le séchage, les graines ont été décortiquées puis séchées soit dans un séchoir solaire, soit à l'air libre (Prakash *et al.*, 2016), soit à haute température (100° à 105 °C), pendant 30 minutes (Bobade et Khyade, 2012).

Détermination du taux d'humidité des graines

La méthode a consisté à déterminer la quantité d'eau perdue après dessiccation à 103 °C dans une étuve pendant 5 heures (AOAC, 2000). La teneur en eau ou humidité (H%) dans l'échantillon a été ensuite calculée par la formule suivante :

$$H\% = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

où M_0 est la masse de la capsule vide (g), M_1, la masse de la capsule avec les échantillons avant étuvage (g), M_2, la masse finale de la capsule avec les échantillons après étuvage (g).

Extraction de l'huile par solvant (n-hexane)

Actuellement, la majorité des procédés d'extraction des huiles végétales utilisent l'hexane comme solvant (Conkerton *et al.,* 1995 ; Wan *et al.,* 1995 ; Hu *et al.,* 1996 ; Proctor et Bowen, 1996). Le principe de ce procédé est d'extraire la

fraction lipidique des amandes par un solvant organique à l'aide d'un dispositif « Soxhlet » d'une capacité de 250 ml.

Le rendement en huile (R%) a été ensuite calculé à partir de la formule suivante :

$$R\% = \frac{M_2 - M_1}{PE} \times 100$$

où M_2 est la masse du ballon avec l'huile extraite (g), M_1 la masse du ballon vide (g) et PE, la masse de la prise d'essai (g).

Détermination des propriétés physicochimiques des huiles

Propriétés physiques

Les propriétés physiques évaluées ont été la densité, l'indice de réfraction et le pouvoir calorifique inférieur.

– *La densité* (*dt*) a été déterminée par la méthode normalisée NF-T 75-111 (Afnor, 1993) et calculée selon la formule suivante :

$$dt = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

où m_0 est la masse du pycnomètre vide (g), m_1 la masse du pycnomètre rempli d'eau (g) et m_2 la masse du pycnomètre rempli d'huile (g).

Si l'expérience a été effectuée à la température t, un facteur de correction (selon la norme NFT 75-111) a été appliqué afin d'obtenir la valeur de la densité de l'échantillon à 20 °C :

$$D = dt + 0{,}0007\ (t - 20)$$

où t est la température ambiante au cours de la manipulation.

– *L'indice de réfraction (Ir)* a été déterminé selon la méthode normalisée NF-T 75-112 (Afnor, 1993) et calculé par la formule suivante (Wolf, 1968) :

$$Ir = n_t + 0{,}00035\ (t - 20)$$

où n_t est la valeur de lecture à la température t, et t la température à laquelle a été effectuée la détermination.

– *Le pouvoir calorifique inférieur (PCI)* a été calculé à l'aide de l'équation empirique suivante (Aliou, 1996) :

$$PCI = 11\ 380 - Ii - 9{,}15 \times Is$$

où *PCI* est calculé en kcal/kg (avec 1 kcal/kg = 4,18 KJ/kg), *Ii* est l'indice d'iode et *Is* l'indice de saponification.

Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques évaluées ont été : l'indice d'acide, l'indice d'ester, l'indice de saponification et l'indice d'iode.

– *L'indice d'acide (Ia)* a été déterminé selon la norme NF-T 75-103 (Afnor, 1993) et obtenu par la formule suivante :

$$Ia = \frac{M_{KOH} \times V_{KOH} \times C_{KOH}}{m_{huile}}$$

où M_{KOH} est la masse molaire de KOH (56 g/mol), V_{KOH} le volume de la solution titrée de KOH utilisée (ml), C_{KOH} la concentration exacte de la solution titrée de KOH (mol/l) et m_{huile} la masse de la prise d'essai (g).

– *L'indice d'ester (Ie)* a été déterminé dans la même solution ayant servi au dosage de l'indice d'acide, selon la norme NF-T 75-104 (Afnor, 1993) par la formule suivante :

$$Ie = 28,05 \times \frac{(V_0 - V_1')}{m}$$

où V_0 est le volume de HCl (0,5N) utilisé pour l'essai blanc (ml), V_1' le volume de HCl (0,5 N) utilisé pour la détermination (ml) et M la masse de la prise d'essai (g).

– *L'indice de saponification (Is)* a été calculé à partir de l'indice d'ester et de l'indice d'acide en utilisant la formule suivante :

Indice d'ester = Indice de saponification – Indice d'acide

d'où Indice de saponification = Indice d'ester + Indice d'acide

– *L'indice d'iode (Ii)* a été déterminé par la méthode de Hübl selon l'expression suivante :

$$Ii = 12,69 \times \frac{(V_0 - V_1')}{m} \times C$$

où C est la concentration de la solution de thiosulfate de sodium (mole/l), V_0 le volume de la solution de thiosulfate de sodium versé pour l'essai blanc (ml), V_1' le volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisé pour la détermination (ml), et m la masse de la prise d'essai (g).

Composition en acide gras

La détermination des acides gras de l'huile a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse (CPG), selon la méthode préconisée par la norme NF-T 60-233 (Afnor, 1993).

Analyse des données

Une comparaison des moyennes avec des tests de Newman-Keuls (p = 0,05) a été faite afin d'apprécier les différences entre les valeurs des paramètres physiques et chimiques des huiles obtenues selon les trois types de séchage.

Résultats

Séchage des graines

Séchoir solaire

Une brusque diminution de la masse des graines de *Millettia pinnata* est observée entre le premier et le huitième jour (fig. 2), ce qui révèle une perte d'eau des graines durant cette période. Ensuite, la diminution de la masse des graines est significative jusqu'au seizième jour de séchage. Enfin, cette masse reste ensuite constante entre le seizième et le vingtième jour de séchage. Le séchage des graines de *M. pinnata* dans un séchoir solaire doit donc durer entre 16 et 20 jours.

Figure 2
Variation de la masse des graines de Millettia pinnata
durant le séchage dans un séchoir solaire.

Séchage à l'air libre

La masse des graines diminue régulièrement entre le premier et le douzième jour de séchage à l'air libre (fig. 3). La perte d'eau dans les graines est donc importante durant les douze premiers jours. Puis, la masse des graines diminue significativement jusqu'au 26e jour de séchage, et reste ensuite constante jusqu'au 30e jour. Le séchage des graines de *M. pinnata* à l'air libre doit donc durer entre 26 et 30 jours.

Figure 3
Variation de la masse des graines de Millettia pinnata *durant le séchage à l'air libre.*

Taux d'humidité des graines après séchage

Les résultats montrent qu'il existe une différence significative entre les taux d'humidité des graines selon le type de séchage (fig. 4). Les graines séchées à l'air libre présentent le taux d'humidité le plus élevé (7,017 %), suivies des graines séchées à haute température (4,593 %). Celles séchées dans un séchoir solaire présentent le taux d'humidité le plus faible (2,33 %).

Figure 4
Teneur en eau des graines de Millettia pinnata *après séchage.*
Les moyennes accompagnées d'une même lettre (a, b, c) représentent des groupes statistiquement homogènes au seuil de probabilité de 0,05 d'après le test de Newman-Keuls.

Rendement en huile des graines après séchage

Une différence significative a été observée entre le rendement en huile des graines selon le type de séchage (fig. 5). Les graines séchées dans un séchoir solaire possèdent le rendement en huile le plus élevé (36,187 %), suivies des graines séchées à haute température (36,009 %). Celles séchées à l'air libre présentent le rendement en huile le plus faible (34,459 %).

Figure 5

Rendement en huile des graines de Millettia pinnata *après séchage.*

Les moyennes accompagnées d'une même lettre (a, b, c) représentent des groupes statistiquement homogènes au seuil de probabilité de 0,05 d'après le test de Newman-Keuls.

Propriétés physicochimiques de l'huile

Une différence significative a été observée entre la densité, l'indice de réfraction, l'indice d'acide et l'indice diode de l'huile obtenue selon le type de séchage des graines (tabl. 1). L'huile obtenue à partir des graines séchées dans un séchoir solaire possède la densité (0,918 g/cm^3), l'indice de réfraction (1,475), l'indice d'iode (98,41) et le pouvoir calorifique (9 642,367 kcal/kg) les plus élevés mais l'indice d'acide (5,92 mg KOH/g d'huile) le plus faible. Ces résultats montrent également que si l'indice d'acide augmente, la densité, l'indice de réfraction et l'indice d'iode diminuent.

Tableau 1

Propriétés physicochimiques de l'huile de Millettia pinnata *selon le séchage des graines.*

Propriétés	Séchage dans un séchoir solaire	Séchage à l'air libre	Séchage à haute température de (100 à 105 °C)
Densité à 20 °C (g/cm^3)	0,918 (a) ± 0,0004	0,909 (b) ± 0,0004	0,894 (c) ± 0,0004
Indice de réfraction	1,475 (a) ± 0,0003	1,472 (b) ± 0,0006	1,467 (c) ± 0,0006
Indice d'acide (mg KOH/g)	5,92 (b) ± 0,1937	6,335 (b) ± 0,1857	8,543 (a) ± 0,1651
Indice d'ester	173,23 (a) ± 1,7944	177,778 (a) ± 1,0930	173,262 (a) ± 2,7682
Indice de saponification	179,15 (a) ± 1,6615	184,113 (a) ± 1,2785	181,805 (a) ± 2,6973
Indice d'iode	98,41 (a) ± 0,02	87,47 (b) ± 0,02	85,75 (c) ± 0,0244
Pouvoir calorifique inférieur (kcal/kg)	9642,367	9607,896	9630,734

Les données suivies par une même lettre (a, b, c) sur une même ligne ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls ($p < 5$ %).

Composition en acides gras de l'huile

Le tableau 2 présente le profil des acides gras présents dans les huiles de *M. pinnata* obtenues à partir des graines séchées selon les trois types de séchage. La teneur totale en acides gras saturés est respectivement de 14,6 %, 16,59 % et 14,07 % selon le type de séchage (séchoir solaire, à l'air libre, haute température). La composition totale en acides gras insaturés est respectivement de 85,4 %, 83,42 % et 85,94 %. Le principal acide gras saturé contenu dans l'huile de *M. pinnata* est l'acide palmitique et le principal acide gras insaturé est l'acide oléique (acide gras mono-insaturé).

Tableau 2
Composition en acides gras, saturés et insaturés, de l'huile de Millettia pinnata *selon le séchage des graines.*

Acides gras	Teneurs (%)		
	Séchage dans un séchoir solaire	Séchage à l'air libre	Séchage à haute température de 100 à 105 °C
Acide palmitique	10,48	10,62	10,54
Acide oléique	55,97	53,73	56,49
Acide linoléique	19,67	21,32	19,91
Acide linolénique	9,76	8,37	9,54
Acide eicosanoïque	1,97	3,26	1,52
Acide docosanoïque	1,79	1,65	1,75
Acide tétracosanoïque	0,13	0,3	-
Inconnue	0,17	0,76	0,26
Inconnue	0,06	-	-
Acides gras saturés	**14,6**	**16,59**	**14,07**
Acides gras insaturés	**85,4**	**83,42**	**85,94**

Discussion

L'objectif principal de notre étude était d'évaluer l'effet du séchage des graines sur le rendement et la qualité de l'huile de *Millettia pinnata*. Il s'agissait de comparer la teneur en huile et les propriétés physico-chimiques obtenues à partir de graines de *M. pinnata* de Madagascar séchées dans un séchoir solaire, à l'air libre et à haute température, de 100 à 105 °C, pendant 30 minutes.

Le taux d'humidité est inversement proportionnel à la teneur en huile. La teneur en huile dans les graines de *M. pinnata* varie selon le type de séchage,

respectivement 36,19 %, 36,01 % et 34,46 % (séchoir solaire, air libre, haute température). Ces résultats corroborent ceux de Balat (2011) et de Bobade et Khyade (2012), qui suggèrent que le rendement en huile des graines de *M. pinnata* varie de 30 à 40 %.

Concernant les propriétés physico-chimiques de l'huile, sa densité et son indice de réfraction ont été mesurés à 20 °C. Sa densité varie selon le type de séchage des graines : 0,918 g/cm^3 (séchoir solaire, SS), 0,909 g/cm^3 (séchage à l'air libre, SA) et 0,894 g/cm^3 (haute température, HT). Ces valeurs sont comparables à celles d'autres huiles végétales étudiées par Bobade et Khyade (2012) (*Millettia pinnata* en Inde : 0,924 g/cm^3) et Prakash *et al.,* 2016 (*Millettia pinnata curcus* : 0,92 g/cm^3). L'indice de réfraction de l'huile de *M. pinnata* est de 1,475 (SS), 1,472 (SA) et 1,465 (HT). Ces valeurs sont plus faibles que celles de l'huile du *M. pinnata* indien (1,4782 à 28,6) (Vigya *et al.,* 2010). Les valeurs calorifiques de l'huile des graines de *M. pinnata* séchées sont les suivantes : 9 642,367 kcal/kg (SS), 9 607,896 kcal/kg (SA) et 9 630,734 kcal/kg (HT). Ces valeurs sont faibles par rapport à celles mesurées pour le pétrodiesel (10 861,244 kcal/kg), ce qui serait due à la présence d'oxygène lié chimiquement dans les chaînes d'acides gras (Srivastava et Prasad, 2000). Par ailleurs, selon Sadatou (2012), les indices d'iode des huiles de type oléique sont compris entre 80 à 110, ce qui confirme que l'huile de *M. pinnata* de Madagascar est bien de ce type, compte tenu des valeurs de l'indice diode obtenues (98,41 pour SS, 87,47 pour SA et 85,75 pour HT). D'après ces résultats, la densité et le pouvoir calorifique de l'huile de *M. pinnata* de Madagascar se rapprochent de ceux du gasoil.

Selon le type de séchage, les acides gras insaturés des graines de *M. pinnata* sont majoritaires par rapport aux acides gras saturés. La teneur en acide palmitique de cette huile est, selon le type de séchage, de 10,48 % (SS), 10,42 % (SA) et 10,54 % (HT). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour les graines de *Pongamia pinnata* par Vigya *et al.* (2010) et Bobade et Khyade (2012). En effet, ces auteurs indiquent des teneurs en acide oléique variant de 53,73 à 56,49 %, en acide linoléique de 19,67 à 21,32 % et en acide linolénique de 8,34 à 9,76 %, selon les types de séchage. En revanche, la composition en acides gras insaturés de l'huile des graines de *M. pinnata* est différente de celles trouvées par Malik *et al.* (2002) pour *Pongamia glabra*, par Sarma *et al.* (2005), Vigya *et al.,* (2010) et Bobade et Khyade (2012) pour *P. pinnata*, et par Sharmin *et al.* (2006) pour *P. glabra*.

Conclusion

Le rendement en huile des graines de *M. pinnata* séchées dans un séchoir solaire est plus élevé que celui après séchage à l'air libre et à haute température. L'indice d'acide de l'huile obtenu par séchage solaire est faible, ainsi que l'indice d'iode, mais le pouvoir calorifique est élevé. La composition en acides gras de l'huile

de *M. pinnata* indique que la teneur en acide oléique est la plus élevée, suivie de celle en acide linoléique, alors que la teneur en acides gras saturés est faible. On peut en conclure que le type de séchage des graines de *Millettia pinnata* influe le rendement et la qualité de l'huile.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) qui a soutenu financièrement ce travail.

Références bibliographiques

Afnor (Association française de normalisation), 1993
Recueil de normes françaises. Corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés. La Plaine Saint-Denis, 128 p.

Aliou O. H., 1996
Valorisation d'une huile végétale tropicale : l'huile de pourghère. Mémoire de maîtrise ès Sciences appliquées, Sherbrooke (Québec), 121 p.

AOAC (Association of Analytical Communities) (ed.), 2000
Official methods of analysis of AOAC. Gaithersburg, 53 p.

Balat M., 2011
Potential alternatives to edible oils for biodiesel: a review of current work. *Energ. Convers. Manage*, 52 : 1479-1492.

Bobade S. N., Khyade V. B., 2012
Detail study on the properties of *Pongamia pinnata* (Karanja) for the production of biofuel. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2 (7) : 16-20.

Brijesh S., Daswani P. G., Tetali P., 2006
Studies on *Pongamia pinnata* (L.) Pierre leaves: understanding the mechanism(s) of action in infectious diarrhea. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.*, 7 : 665-674.

Conkerton E. J., Wan P. J., Richard O. A., 1995
Hexane and heptane as extraction solvents for cottonseed: a laboratory-scale study. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 72 : 963-965.

Essa M. M., Subramanian P., 2006
Pongamia pinnata modulates oxidant and antioxidant I imbalance in ammonium chloride induced hyper ammonem. *Fundam Clin Pharmacol.*, 20 : 299-303.

Hu W., Wells J. H., Tai-Shun S., Godber J. S., 1996
Comparison of isopropanol and hexane for extraction of vitamin E and oryzanols from stabilized rice bran. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 73 : 1653-1656.

Lakshmikanthan V., 1978
Tree borne oil seeds, directorate of non-edible oils and soap industry. Khadi and Village Industries Commission, Mumbai, 10 p.

Malik M. S., Hamid S., Mughal A. A., Jasra A. B., Mehmud S., 2002
Fatty acid composition of the fixed oil of *Pongamia glabra* seeds. *Pakistan Journal of Scientific Research*, 54 : 53-57.

Paul T. S., Lisette P. J., Ning C., Johanna S. H., Michael A. D., Peter M. G., 2008
Pongamia pinnata: an untapped resource for the biofuels industry of the future. *Bionerg. Res.*, 1 : 2-11.

Prabha T., Dora M., Priyambada S., 2003
Evaluation of *Pongamia pinnata* root extract on gastric ulcers and mucosal offensive and defensive factors in rats. *Indian J. Exp. Biol.*, 41 : 304-310.

Prakash S. R., Aravindhkumar R., Madhav R., Vinoth B., 2016
Biodiesel production from *Millettia pinnata* oil and its characterization. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3 (9) : 512-516.

Proctor A., Bowen D. J., 1996
Ambient-temperature extraction of rice bran oil with hexane and isopropanol. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 73 : 811-813.

Punitha R., Manoharan S., 2006
Antihyperglycemic and antilipidperoxidative effects of *Pongamia pinnata* (Linn.) Pierre flowers in alloxan induced diabetic. *J. Ethno. Pharmacol.*, 105 : 39-46.

Sadatou S. N., 2012
Contribution à la production du biodiesel à partir de quelques huiles végétales camerounaises : cas des huiles de palme, maïs, arachide et coton. Mémoire de Dipes II (diplôme de professeur de l'enseignement secondaire deuxième grade), université de Yaoundé I, 128 p.

Samuel A. J. S. J., Radhamani S., Gopinath R., Kalusalingam A., Kumari A. G., Vimala A., Husain H. A., 2009
In vitro screening of anti-lice activity of *Pongamia pinnata* leaves. *Korean J. Parasitol.*, 47 : 377 p.

Sarma A. K., Konwer D., Bordoloi P. K., 2005
A comprehensive analysis of fuel properties of biodiesel from Koroch seed oil. *Energy Fuels*, 19 : 656-663.

Sharmin E., Ashraf S. M., Ahmad S., 2006
Synthesis, characterization, antibacterial and corrosion protective properties of epoxies, epoxy-polyols and epoxy-polyurethane coatings from linseed and *Pongamia glabra* seed oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 40 : 407-422.

Sidibe S. S., Blin J., Vaitilingom G., Azoumah Y., 2010
Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9) : 2748-2759.

Simonsen H. T., Nordskjold J. B., Smitt U. W., 2001
In vitro screening of Indian medicinal plants for antiplasmodial activity. *J. Ethno. Pharmacol.*, 74 : 195-204.

Srinivasan K., Muruganandan S., Lal J., 2001
Evaluation of anti-inflammatory activity of *Pongamia pinnata* leaves in rats. *J. Ethno. Pharmacol.,* 78 : 151-157.

Srivastava A., Prasad R., 2000
Triglycerides based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 4 : 111-133.

Vigya K., Archana D., Latha R., 2010
Physico-chemical characterization and antimicrobial activity from seed oil of *Pongamia pinnata*, a potential biofuel crop. *Biomass and Bioenergy*, 34 : 108-115.

Vismaya, Belagihally S. M., Rajashekhar S., Jayaram V. B., Dharmesh S. M., Thirumakudalu S. K. C., 2010
Gastroprotective properties of Karanjin from Karanja (*Pongamia pinnata*) seeds; role as antioxidant and ATPase inhibitor. Evid based complement. *Altern Med.*, 27 : 267-279.

Wan P. J., Pakarinen D. R., Hron R. J., Richard O. L., Conkerton E. J., 1995
Alternative hydrocarbon solvents for cotton seed extraction. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 72 : 653-659.

Wolff J. P. (éd.), 1968
Manuel d'analyse des corps gras. Azoulay, Paris, 67 p.

Partie III

Gérer durablement les écosystèmes

Village de Loundoungou (Likouala, Congo).
© IRD/J.-P. Profizi

Introduction

Pierre Couteron
IRD, France

Kouami Kokou
Université de Lomé, Togo

Au lendemain de la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (Cnued, Agenda 21, déclaration de Rio) et de son lot de conventions et d'accords – sur le climat, la biodiversité, les océans, les forêts –, gérer durablement les écosystèmes, en particulier forestiers, est devenu une nécessité urgente face aux changements globaux. Les impacts nouveaux des évènements climatiques extrêmes, des pathogènes, de l'augmentation de la demande en terres et en commodités engendrent un ensemble de pressions sur la biodiversité (FAO, 1998). Or, les forêts tropicales jouent un rôle primordial dans le cycle mondial du carbone, la régulation du climat, la protection de la biodiversité et d'autres processus écologiques, comme l'hydrologie et la dynamique des nutriments (Locatelli *et al.*, 2015 ; Gibbs *et al.*, 2007). Elles fournissent une large gamme de produits forestiers et de services écosystémiques. Mais la dégradation et la disparition actuelles des forêts tropicales réduisent leur capacité à fournir ces services essentiels et menacent de nombreuses espèces, animales et végétales, dont la raréfaction est, en retour, facteur de fragilisation des forêts.

Il est donc indispensable de gérer les forêts de manière durable et raisonnée (Leroy *et al.*, 2013). La gestion durable des forêts (GDF) implique la prise en compte simultanée des fonctions, services et avantages écologiques de ces écosystèmes. Elle demande une gestion forestière équilibrée, intégrant de multiples objectifs, relevant de la production de biens et services, comme de la conservation ou de la restauration du potentiel productif et de la biodiversité. Elle doit se déployer au travers d'actions socialement acceptables, voire souhaitées, dont la pertinence et l'efficacité exigent une évaluation régulière et rigoureuse. Six critères sont avancés pour cette évaluation : biodiversité, productivité des écosystèmes, conservation des sols et des eaux, cycles écologiques planétaires, avantages multiples pour la société, acceptation de la responsabilité de la société à l'égard du développement durable. Aucun de ces critères, ou des indicateurs associés, n'est à considérer seul, et chacun d'eux doit être contextualisé vis-à-vis des autres.

Au début des années 1990, la littérature scientifique dédiée à la GDF a porté une attention particulière à la déforestation et à l'élaboration de principes, critères et indicateurs (Prabhu *et al.*, 1996 ; Wijewardena, 1998). Avec l'entrée en vigueur de la Convention sur la diversité biologique (CDB, Nations unies, 1993), la problématique « biodiversité » atteint une forte résonance mondiale dès les années 2000. Ceci débouche sur plusieurs nouveaux cadres internationaux : le protocole de Nagoya adopté à la 10e réunion de la Conférence des Parties (COP 10), le 29 octobre 2010, à Nagoya au Japon, et l'accès et le partage des avantages (APA) ouvert à la signature le 02 février 2011 ; les objectifs d'Aichi adoptés en octobre 2010 et, enfin, les plans stratégiques de la CDB, notamment celui pour 2011-2020. De son côté, la question du « changement climatique » émerge pleinement à compter de 2005, et les premières discussions sur la réduction des émissions liées à la déforestation et la dégradation (REDD, COP11) font des enjeux forestiers un des piliers de l'atténuation et de l'adaptation.

Nous revenons sur ces jalons parce que les préoccupations sociétales pour l'environnement, sous-tendant les négociations internationales, se traduisent par des « initiatives » qui sont autant d'opportunités pour la GDF : objectifs d'Aichi, REDD+, restauration des paysages forestiers (RPF), défi de Bonn (AFR100), contributions déterminées au niveau national de l'Accord de Paris. Ces initiatives façonnent les approches de la GDF dans les pays tropicaux, induisent des questionnements scientifiques et influencent l'agenda scientifique, voire la programmation. Il est alors essentiel que les communautés scientifiques concernées par la GDF puissent, en retour, valoriser leurs résultats et leurs connaissances dans les arènes des négociations mondiales. Elles doivent se faire entendre en pondérant les débats, en proposant des solutions et en rappelant les conditions d'un enracinement de la GDF dans une recherche efficiente : latitude d'investigation, diversité des thématiques, stabilité des financements.

C'est dans cette perspective que le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) a, depuis 2015, soutenu une communauté scientifique répartie dans 22 pays, pour renforcer les compétences, les connaissances et les partenariats sur la gestion durable de la biodiversité végétale, en établissant des ponts entre recherche, éducation et besoins de développement des sociétés.

La présente partie inclut 19 études de cas soutenues par le programme SEP2D. Illustrant l'action de la recherche pour la GDF, elles sont regroupées en trois grands thèmes (ou sous-parties) : (i) caractérisation et dynamique des écosystèmes ; (ii) gestion durable des ressources végétales ; (iii) restaurations post-exploitations. Au travers de ces études, onze pays, d'Afrique occidentale (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Guinée, Niger, Sénégal, Togo), d'Afrique centrale (République démocratique du Congo, Tchad), et de l'Océan Indien (Comores, Madagascar), partagent leurs expériences.

Caractérisation et dynamique des écosystèmes

Cette sous-partie aborde les questions de conservation de la biodiversité, de caractérisation de l'écologie des plantes et de la dynamique des peuplements forestiers, en relation avec la GDF. Les études abordent des habitats insulaires (Comores, Madagascar) comme continentaux (République démocratique du Congo). Elles décrivent la diversité des taxons, leurs affinités biogéographiques en identifiant les plantes exotiques envahissantes. La dynamique forestière a été étudiée dans des forêts de terre ferme (parc Kahuzi-Biega en République démocratique du Congo), comme de mangrove, dans l'estuaire du fleuve Betsiboka au nord-ouest de Madagascar. Ce grand thème aborde aussi la valorisation de la flore, notamment pour les bryophytes, encore mal connues en zone tropicale. En résumé, ces études caractérisent la biodiversité, dans la perspective de concilier les besoins des populations locales et les capacités des écosystèmes à se maintenir (aires protégées, espaces naturels) ou à se reconstituer, en présence de fortes pressions anthropiques. Cette section s'achève sur l'analyse génétique d'un caféier sauvage endémique (*Coffea canephora*) en Guinée, pour identifier les mesures de sauvegarde d'une population de cette espèce isolée dans un fragment de forêt dense très vulnérable.

Gestion durable des ressources végétales

Cette sous-partie aborde l'exploitation des écosystèmes en vue d'ajuster des modalités de gestion qui, actuellement, ne garantissent pas un niveau de prélèvement durable. Une étude propose une stratégie intégrée de reconstitution des peuplements menacés de *Pterocarpus erinaceus* dans les savanes et forêts sahélo-soudaniennes et soudano-guinéennes d'Afrique de l'Ouest (Togo, Bénin, Burkina Faso, Niger). Une deuxième étude, au Bénin, traite du greffage et de la domestication du karité (*Vitellaria paradoxa*), espèce à fort intérêt économique également menacée. Des recherches illustrent aussi la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation, dans l'esprit de l'APA. C'est le cas des études visant l'amélioration des connaissances sur la culture du palmier dattier en zone sahélienne (Niger, Tchad). Le chapitre sur l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques, au Sénégal, met en avant l'agrobiodiversité et la transition agroécologique, avec implication des agriculteurs dans la recherche. Cette sous-partie aborde aussi le paysage urbain et la structuration de villes écologiquement durables, au Bénin, avec une valorisation écotouristique des écosystèmes marécageux de Cotonou impliquant les communautés et les autorités locales.

Restaurations post-exploitations

La troisième sous-partie aborde la dynamique de restauration des écosystèmes forestiers, malgré d'énormes pressions anthropiques. Une première étude suit les transformations spatiales et la dynamique de l'occupation du sol en vue de la gestion durable de la forêt classée de l'Alibori-Supérieur, au Bénin. Une étude similaire a été conduite en Côte d'Ivoire, pour évaluer la capacité de régénération naturelle de la forêt classée du Haut-Sassandra selon différents niveaux de pressions agricoles, principalement la cacaoculture pratiquée par les populations installées illégalement. La restauration des sites miniers a été traitée à Mandena Taolagnaro (Madagascar) au travers de plusieurs chapitres, qui présentent les enjeux de revégétalisation et de conservation de la biodiversité via la réintroduction des espèces locales dans les sites miniers. Ceci inclut l'étude *ex situ* des espèces pionnières facilitant l'installation des espèces forestières, l'évaluation de la capacité d'adaptation d'arbres autochtones, choisis avec l'aide des populations locales, ou encore du rôle des micro-organismes dans la dynamique des communautés végétales.

Les thèmes traités dans cette sous-partie apportent des connaissances pour la GDF dans des contextes tropicaux variés, ainsi que pour la restauration d'écosystèmes très dégradés. Certains chapitres illustrent aussi la domestication d'espèces de grande importance économique et socioculturelle, ainsi que plusieurs initiatives pour conserver et utiliser durablement les ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation. Ces études contribuent ainsi à certains objectifs du développement durable et aux objectifs d'Aichi, en matière de biodiversité et de partage juste et équitable des avantages de celle-ci (APA). De plus, ces recherches ont mis en œuvre diverses formes de partenariats : ceux d'institutions académiques avec le secteur privé, la société civile et les organisations de protection de la nature ; ceux d'universités unies au sein d'un même pays (au Bénin et à Madagascar) pour travailler sur le même matériel végétal ; enfin, le partenariat international francophone apparaît dans beaucoup de projets, comme celui sur l'espèce d'intérêt majeur *Pterocarpus erinaceus* (Togo, Bénin, Burkina Faso, Niger, Mauritanie et France) ; on note aussi des collaborations avec les pays anglophones, comme le Ghana, le Nigéria et l'Afrique du Sud.

Références bibliographiques

FAO, 1998
Guidelines for the management of tropical forests 1. The production of wood, *FAO Forestry Paper,* 135, Rome.

Gibbs H. K., Brown S., Niles J. O., Foley J. A., 2007
Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2 (4) : 045023.

Locatelli B., Catterall C. P., Imbach P., Kumar C., Lasco R., Marín-Spiotta E., Mercer B., Powers J. S., Schwartz N., Uriarte M., 2015
Tropical reforestation and climate change: beyond carbon. *Restoration Ecology*, 23 (4) : 337-343. DOI:10.1111/rec.12209

Leroy M., Derroire G., Vendé J., Leménager T., 2013
La gestion durable des forêts tropicales : de l'analyse critique du concept à l'évaluation environnementale des dispositifs de gestion. Agence française de développement, Paris, 235 p.

Nations unies, 1993
Convention on Biological Diversity. World Commission on environment and Development, Rio de Janeiro.

Prabhu R., Colfer C. J. P., Venkateswarlu P., Tan L. C., Soekmadi R., Wollenberg E., 1996
Tester les critères et indicateurs de gestion durable des forêts : phase 1, rapport final (Testing criteria and indicators for the sustainable management of forests: phase 1, final report). Édition spéciale, Cifor, Bogor.

Wijewardena D., 1998
Critères et indicateurs de gestion forestière durable *(Criteria and indicators for sustainable forest management)*. *Bulletin de l'OIBT sur les forêts tropicales*, 8 (3) : 4-6.

Caractérisation et dynamique des écosystèmes

Chapitre 25

Inventaire floristique de l'île de Ngazidja, archipel des Comores

Mohamed Andilyat
Université des Comores, Union des Comores

Ali Ramadhoini
Université des Comores, Union des Comores

Bernard Riera
CNRS-MNHN, France

Edmond Roger
Université d'Antananarivo, Madagascar

Miadana Faramalala
Université d'Antananarivo, Madagascar

Introduction

Sous un climat tropical humide, entre l'Afrique et Madagascar, les îles des Comores possèdent une biodiversité originale. Le projet « Connaître pour conserver le patrimoine naturel caché des Comores », mené par le Muséum national d'histoire naturelle de Paris de 2008 à 2011, a montré que, dans un contexte de dégradation rapide des milieux naturels comoriens, la caractérisation de la biodiversité indigène de ces îles est un prérequis à des études taxonomiques et écologiques plus approfondies (Fontaine *et al.,* 2012). En effet, d'après Labat *et al.* (2006) : « Il suffit de lire l'arrêté n° 01/031/MPE/CAB portant protection des espèces de faune et de flore sauvages des Comores pour se rendre compte du travail qui reste à faire, sur le plan systématique, pour la mise à niveau des connaissances relatives aux statuts des espèces. Beaucoup de groupes sont peu ou pas assez documentés, alors que les Comores font partie des vingt petites îles ou archipels caractérisés par un nombre restreint d'espèces mais dont le

taux d'endémisme est exceptionnel. En effet, il n'y a jamais eu d'inventaires complets des plantes vasculaires vivant dans chaque île. »

Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude était de réaliser un inventaire floristique des Comores, en commençant par l'île la plus grande et la plus diversifiée en termes d'écosystèmes : Ngazidja (ou Grande Comore). Les objectifs spécifiques étaient de :

– proposer la première liste floristique globale de cette île ;

– identifier l'origine biogéographique des espèces ;

– identifier les plantes possédant des spécificités écologiques.

L'analyse de la spécificité écologique de l'île de Ngazidja a permis d'avancer deux hypothèses : (1) la découverte de nouvelle(s) espèce(s) pour l'île et d'autres pour les Comores est envisageable ; (2) certaines espèces récoltées antérieurement sont probablement éteintes ou très rares aujourd'hui.

Matériels et méthodes

L'inventaire floristique a été effectué dans tous les écosystèmes terrestres de l'île de la Grande Comore, ainsi que dans les herbiers nationaux de la région du Sud-Ouest de l'océan Indien.

Inventaire floristique dans les collections des herbiers

Les herbiers consultés ont été les suivants : ceux de l'archipel des Comores (herbier des Comores, HKM, à Moroni, Ngazidja ; celui de Mayotte, MAO, à Coconi), les codes de chaque herbier enregistré dans le réseau International, selon l'*Index Herbariorum* (Thiers, 2016), les deux herbiers du Muséum national du Kenya à Nairobi, l'herbier de l'île Maurice à Réduit (MAU), ceux de La Réunion à Saint-Denis (REU), de Tsimbazaza (TAN) et à Antananarivo, Madagascar.

Afin d'étudier la taxonomie et la nomenclature de chaque espèce, la bibliographie sur la flore de la région a été consultée, notamment la série *Flore de Madagascar et des Comores.* Des bases de données en ligne ont été également consultées, notamment celles du : Global Biodiversity International and Facility (www.gbif.org), de la collection Sonnerat du Muséum national d'histoire naturelle de Paris (https://science.mnhn.fr), du Conservatoire et jardin botaniques de la ville de Genève (www.ville-ge.ch/cjb/), ainsi que The plantlist (www.theplantlist.org/) et l'Index international des noms des plantes (www.ipni.org).

Inventaire floristique sur le terrain

Un échantillonnage des plantes vasculaires de l'île de Ngazidja a été effectué selon des grilles de 30 m x 30 m de maille sur toute l'île, afin de définir les

sites appropriés pour l'étude de la végétation. Ces derniers ont été choisis en fonction de leur végétation la plus naturelle ou la moins dégradée. Au total, 46 mailles de 30 m x 30 m ont été retenues pour la recherche de l'aire minimale (maximum d'espèces sur la plus petite surface inventoriée) dans chaque type de formation végétale. La méthode de transect de Duvigneaud (1969) a ensuite été appliquée dans ces 46 mailles retenues représentatives de tous les écosystèmes rencontrés dans cette île. Les échantillons d'herbier collectés incluaient les parties végétatives (tiges et feuilles) et, autant que possible, les parties fertiles (fleurs, fruits) suivant l'état phénologique au moment des inventaires. Chaque récolte, associée à des coordonnées géographiques et à des données d'observation de la plante et de son écologie, a été déposée à l'herbier des Comores. Les doubles des spécimens ont été déposés à l'herbier de l'université d'Antananarivo.

Les sites de relevé de terrain

Ces sites ont été choisis en tenant compte *a priori* de la forte concentration d'espèces endémiques dans les parcelles les moins perturbées d'une végétation donnée. Les sites retenus ont été les suivants (fig. 1) :

– A1 à A23 pour les formations végétales halophiles ;

– L1 à L9 pour les formations semi-caducifoliées (0 à 200 m d'altitude) ;

– B1 à B3 pour les formations de basse altitude (200 à 600 m) ;

– M1 à M5 pour les formations de moyenne altitude (600 à 1 200 m) ;

– H1 à H3 pour les formations de haute altitude (1 200 à 1 800 m) ;

– S1 et S2 pour les formations du sommet (1 800 à 2 361 m d'altitude).

Méthode de transect de Duvigneaud

La végétation étant hétérogène sur toute la surface de l'île (fig. 1), des transects de longueur variable (suivant les sites) ont été établis selon la topographie. Les transects ont été effectués depuis le niveau de la mer jusqu'à 2 361 m d'altitude, point culminant de l'île, au sommet du volcan Karthala. Cette méthode a permis d'établir la liste floristique globale de l'île et d'analyser la biogéographie de la flore.

Création de la base de données floristiques

La base de données de l'herbier HKM des Comores a été initiée en 2015, en utilisant le logiciel Botanical Research and Herbarium Management System (Brahms v.7) conçu par l'université d'Oxford. Cette base a été enrichie avec les données de notre inventaire floristique de l'île de Ngazidja, à savoir (fig. 2) :

– les caractéristiques écologiques de chaque espèce (région, station, habitat et localisation à partir de coordonnées GPS, etc.) ;

– les caractéristiques floristiques de chaque espèce (classification, nom vernaculaire, distribution, densité, phénologie, date de récolte et photos de la plante).

Figure 1

Localisation des relevés suivant l'altitude.

Réalisation : Andilyat Mohamed, sept. 2017.

Figure 2
Démarche utilisée pour l'élaboration de la base de données floristiques de l'île.

Toutes ces informations ont permis de préciser la biogéographie de chaque espèce.

Labat et *al.* (2006) ont montré des différences floristiques entre les îles de l'archipel des Comores. Leurs résultats ont été également utilisés afin de déterminer l'affinité biogéographique des espèces de l'île de Ngazidja.

Résultats et interprétations

Base de données floristiques

Les inventaires floristiques de terrain et des différents herbiers ont permis de recenser 1 304 espèces de plantes vasculaires sur l'île de Ngazidja, et de renseigner les informations dans la base de données sous Brahms 7. Les informations concernent la composition floristique, la biogéographie et l'écologie de chaque espèce inventoriée dans les sites de relevé. Les sites ont été codés en fonction des formations végétales rencontrées.

Caractéristiques floristiques

La flore vasculaire allochtone et autochtone de cette île est constituée de cinq espèces gymnospermes, 1 108 angiospermes et 191 ptéridophytes (tabl. 1). Le tableau 1 montre que le groupe des plantes vasculaires à spores (ptéridophytes) est diversifié en espèces. Les cinq familles d'angiospermes les plus riches en espèces sont les Poaceae, les Orchidaceae, les Fabaceae, les Asteraceae et les Rubiaceae (fig. 3).

Tableau 1
Caractéristiques de la flore vasculaire de l'île de Ngazidja.

Embranchements	Groupes	Familles	Genres	Espèces
Spermaphytes	Angiospermes Dicotylédones	145	541	831
	Angiospermes Monocotylédones	11	236	277
	Gymnospermes	4	5	5
Sous-total		161	782	1 113
	Ptéridophytes	58	68	191
Total		**219**	**850**	**1 304**
Statuts	Autochtones	63	137	919
	Allochtones	75	190	385

Figure 3
Diversité spécifique des ptéridophytes et des familles d'angiospermes les plus riches.

Parmi les 1 304 espèces recensées, neuf connues des récoltes anciennes n'ont pas été inventoriées lors de nos travaux sur le terrain, soit parce qu'elles n'ont pu être identifiées (le stade phénologique stérile peut empêcher une identification fiable), soit parce qu'elles sont très rares, soit parce qu'elles n'existent plus. Certaines espèces sont connues uniquement grâce aux herbiers témoignant de leur présence jadis sur l'île. C'est le cas de *Dalbergia comorensis* Bosser

& Rabevohitra (Fabaceae), qui n'a été rencontrée que lors des récoltes de 1885 et 1957 (spécimens conservés à Paris). Le bois utilisé sous le toit d'une mosquée à Moroni datant de la fin du XVIIIe siècle provient également de cette espèce (l'arbre était en effet réputé pour sa résistance aux termites et sa longévité). Cette espèce, ainsi que huit autres, sont aujourd'hui considérées comme éteintes. Sept autres espèces (les « espèces rares ») n'ont été observées que dans un seul site, et sont représentées par dix individus au maximum (tabl. 2).

Tableau 2
Liste des sept espèces rares et des neuf probablement éteintes.

Statut	Famille	Nom Scientifique	Auteurs	Dernière année de récolte
Espèces considérées éteintes	Clusiaceae	*Calophyllum comorense*	Perrier de La Bâtie	1889
	Euphorbiaceae	*Dombeya polyphylla*	Shumann	1957
	Fabaceae	*Dalbergia comorensis*	Bosser & Rabevohitra	1957
	Orchidaceae	*Cynorkis lilacina* var. *boiviniana*	Perrier de La Bâtie	1890
	Poaceae	*Arthraxon lancifolius*	Hochstetter	1850
	Poaceae	*Leptaspis zeylanica*	Nees von Esenbeck	1884
	Poaceae	*Panicum comorensis*	Nees & Christian	1886
	Sapotaceae	*Labramia mayottensis*	Labat, Pignal & Pascal	1884
	Solanaceae	*Solanum macrothyrsum*	Dammer	1884
Espèces rares	Balsaminaceae	*Impatiens comorensis*	Baker	2016
	Euphorbiaceae	*Croton humblotii*	Baillon	2015
	Malvaceae	*Sterculia comorensis*	Baillon	2016
	Orchidaceae	*Jumellea paillerie*	Rakotoarivelo	2012
	Pandanaceae	*Pandanus maximus*	Martelli	2016
	Rubiaceae	*Coffea humblotiana*	Baillon	2014
	Rutaceae	*Vepris unifoliolata*	(Baillon) Labat, Pignal & Pascal	2015

Affinités biogéographiques

Ngazidja est l'île la plus récente de l'archipel des Comores ; elle est apparue alors que les trois autres îles existaient déjà avec leurs positions actuelles. Ainsi, sa flore peut être originaire des territoires voisins : le continent africain, les trois autres îles de l'archipel, ou Madagascar. Seul le niveau spécifique peut développer des caractères de spéciation dans des centres d'endémisme. En se basant sur la bibliographie et les collections d'herbiers, le niveau spécifique de la flore présente des plantes autochtones (natives) et allochtones (exotiques). Les premières sont celles qui ont colonisé l'archipel avant l'arrivée de l'homme.

Ces espèces natives représentent encore 70 % de la flore de l'île. Les espèces exotiques sont les plantes introduites volontairement ou non. Bien que le nombre des espèces natives (919) soit le double de celui des espèces introduites (385), ces dernières occupent de la végétation humide de l'île.

Les plantes autochtones et endémiques des Comores

Sur les 919 espèces natives, 174 sont endémiques des Comores après analyse de la base de données du MNHN de Paris. Celles-ci sont réparties en 137 genres appartenant à 63 familles. Les résultats montrent que les espèces communes avec Madagascar (située à 600 km de Ngazidja) sont deux fois plus nombreuses qu'avec la côte est-africaine qui est pourtant plus proche (300 km) de l'île.

Espèces particulières de Ngazidja

Sur les 174 espèces endémiques recensées dans l'archipel, 28 sont strictement endémiques de l'île de Ngazidja. Certaines espèces endémiques ont une plus grande répartition, comme *Euclea racemosa,* un arbuste haut de 3 m fréquent dans les formations sèches et subhumides de basse altitude. À l'est de l'île, cette espèce a un port d'arbre dans une forêt de transition entre 400 et 700 m d'altitude. Autres exemples, *Weinmannia comorensis* et *Nuxia pseudodentata* se retrouvent dans toutes les formations subhumides, humides et super-humides. Enfin, le palétuvier natif, *Bruguiera gymnorhyza,* se rencontre dans presque toutes les mangroves.

Dix-neuf nouvelles espèces (jamais répertoriées jusqu'à présent sur l'île de Ngazidja) sont observées à moins de 200 m d'altitude (tabl. 3). Par ailleurs, les inventaires montrent que tous les types biologiques de plantes des pays tropicaux (classification de Raunkiaer), en plus des épiphytes et des lianes, sont présents sur l'île. Il est fort probable que, parmi ces espèces, certaines étaient, ou sont encore, présentes dans les autres îles comoriennes, Ngazidja étant l'île la plus récente de l'archipel.

Espèces autochtones communes avec Madagascar

Madagascar et l'archipel des Comores sont associés en raison de leurs similitudes floristiques constatées par les phytogéographes. En effet, parmi les 174 espèces endémiques présentes dans les formations primaires de l'île de Ngazidja, 22 % (41 espèces) sont aussi connues à Madagascar, par exemple *Commiphora arafy* (Burseraceae*), Comoranthus obconicus* (Oleaceae)*, Nuxia pseudodentata* (Stilbaceae), *Cyathea hildebrandtii* (Cyatheaceae). Tous les genres sont également connus à Madagascar. En effet, 60 % de la flore autochtone des formations sèches de l'île de Ngazidja se retrouve sur la côte Nord-Ouest malgache (région de Boeny), comme par exemple *Vanilla humblotii, Diospyros comorensis, Ouratea humblotii, Vepris boiviniana, Acalypha lyalii,* etc.

Espèces autochtones communes avec la côte est-africaine

En tout, 19 des espèces autochtones recensées (soit 10 %) sont connues aussi sur la côte est-africaine. La plupart sont rencontrées dans les formations primaires

Tableau 3
Nouvelles espèces identifiées sur l'île de Ngazidja, et répartition dans l'océan Indien.

Famille	Espèce	Répartition	Références
Aloeaceae	*Aloe aldabrensis*	Seychelles et Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Boraginaceae	*Terminalia ulexoides*	Mayotte	Aman *et al.* (2011)
Burseraceae	*Commiphora arafy*	Mohéli, Mayotte et Madagascar	Pascal (2002)
Euphorbiaceae	*Euphorbia tirucali*	Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Euphorbiaceae	*Aristogeitonia monophylla*	Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Euphorbiaceae	*suregada comorensis*	Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Malvaceae	*sterculia comorensis*	Mayotte	Aman *et al.* (2011)
Malvaceae	*Hibiscus comorensis*	Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Meliaceae	*Turraea wakefieldii*	Mohéli et Mozambique	Davis (2009)
Meliaceae	*Xylocarpus granatum*	Mayotte et Mohéli	Kamaria et Roger (2011)
Melastomataceae	*Medinilla tuberosa*	Madagascar et Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Ochnaceae	*Ouratea humblotii*	Mayotte et Mohéli	Aman *et al.* (2012)
Surianaceae	*Suriana maritima*	Îles éparses	CNBM (2012)
Annonaceae	*Polyathia humblotii*	Anjouan et Mayotte	Pascal (2002)
Oleaceae	*Noronhia cochleata*	Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Orchidaceae	*Nervillia bicarinata*	Mayotte	Pascal *et al.* (2001)
Rhizophoraceae	*Ceriops tagal*	Mayotte et Mohéli	Kamaria et Roger (2011)
Rubiaceae	*Coffea humblotii*	Mayotte	Barthela et Viscardi (2012)
Rubiaceae	*Trigonopyrens comorensis*	Mayotte	Mouly (2009)

littorales et dans les formations sèches de basse altitude comme, par exemple, *Saba comorensis* (Apocynaceae), *Erythroxylum platycladum* (Erythroxylaceae), *Euphorbia tirucalli* (Euphorbiaceae), *Turraea wakefieldii* (Meliaceae) et *Oeceoclades lonchophylla* (Orchidaceae). En zone humide, les espèces communes avec la côte est-africaine appartiennent à la famille des Rubiaceae (*Psychotria conocarpa, Pavetta hildebrandii* et *Psychotria johannac*).

La proximité du continent africain par rapport à l'île de Ngazidja (300 km) est marquée par les espèces halophiles. En effet, la plupart des espèces halophiles observées sur cette île sont présentes au Mozambique et sont absentes de Madagascar. Il s'agit des neuf palétuviers et de leurs espèces associées. Seule *Xylocarpus moluccensis* est absente dans les mangroves du Mozambique (Barbosa et Bandeira, 2001) et de Madagascar (Razakanirina, 2016) ; cette espèce pourrait provenir du nord de l'océan Indien.

Les plantes exotiques

Les travaux de collecte ont recensé des plantes exotiques, que nous distinguons en deux groupes : les plantes spontanées, d'une part, et celles cultivées, d'autre part, même s'il est interdit d'introduire des espèces exotiques dans le pays depuis la ratification en 1994 de la Convention sur la biodiversité par les Comores. Les espèces exotiques se comportent de façon variée, certaines deviennent spontanées après plantation, tandis que celles cultivées doivent être entretenues.

Les plantes exotiques spontanées

Ce groupe d'espèces (236) a fait l'objet d'une plantation unique à des fins d'ornementation, de couverture végétale ou de lutte contre l'érosion du sol. Il s'agit de plantes adventices (pyrophytes et rudérales), de reboisement (*Tectona grandis,* Verbenaceae) et d'ornement (*Terminalia mantaly,* Combretaceae) (fig. 4). Ces plantes spontanées se rencontrent majoritairement entre 200 et 600 m d'altitude.

Figure 4
Importance des espèces exotiques spontanées sur l'île (%).

Certaines s'adaptent mieux que d'autres en devenant envahissantes et en colonisant les milieux naturels occupés par les espèces autochtones. Les plus virulentes dans les formations humides d'altitude sont, par ordre décroissant, *Clidemia hirta* (Melastomaceae)*, Psidium cattleianum* (Myrtaceae), *Syzygium jambos*, (Myrtaceae) et *Hedychium flavescens* (Zingiberaceae). En basse altitude, dans toutes les autres formations végétales au-dessous de 600 m, *Lantana strigo camara* et *Eucalyptus robusta* sont les plus envahissantes.

Les plantes exotiques cultivées

La plupart des plantes introduites pour l'agriculture se sont naturalisées dans les champs agricoles ou dans les jardins des particuliers. Elles constituent 70 % des plantes exotiques et se rencontrent dans les formations de moyenne altitude, entre 200 et 1 000 m. Certaines cultures maraîchères sont observées dans les forêts. Celles-ci contiennent 149 espèces divisées en (1) cultures de rente (32 espèces) dominées par la vanille (Ngazidja), la girofle (Anjouan) et l'ylang ylang (Mohéli), (2) cultures maraîchères (49 espèces) et (3) cultures vivrières (67 espèces, dont 18 variétés de banane locales et 20 espèces et variétés de tubercules). Les plantes exotiques cultivées sont introduites volontairement pour leur valeur alimentaire.

Parmi les plantes alimentaires, 66 espèces sont « orphelines » (la population ignore leur usage alimentaire), comme par exemple *Morinda citrifolia*, et d'autres sont « négligées » (ni cultivées, ni commercialisées), comme *Achirantes aspera*. Des espèces alimentaires autochtones sont également recensées : *Dripetes comorensis* (plante alimentaire orpheline) et *Dioscorea comorensis* (plante alimentaire négligée) (Andilyat *et al*., 2016).

Discussion

La proximité de Ngazidja par rapport à la côte est-africaine pourrait laisser penser que la flore de l'île est originaire des pays africains. L'analyse de la biogéographie prouve le contraire. En effet, Pascal et *al*. (2001) ont montré que : « La colonisation de l'archipel par les êtres vivants est due à la grande régression marine de la période glaciaire du Wurm (de -125 000 à -10 000 ans), où pendant cette période d'environ 100 000 ans, les hauts fonds actuels qui existent entre Madagascar et l'archipel des Comores (Banc du Geyser) étaient également émergés. Ces terres émergées ont sans doute servi de ponts entre Madagascar et les Comores, puis facilité la migration de plantes et d'animaux de manière active ou passive. » Ce qui signifie que les trois autres îles des Comores ont peut-être servi de « pont » à la colonisation des plantes sur l'île de Ngazidja. Suivant l'ordre d'apparition des îles de l'archipel, la flore du nord-ouest malgache (600 km de Ngazidja) a d'abord disséminé vers l'île de Mayotte, apparue en premier et située à moins de 300 km. La flore mahoraise s'est ensuite propagée vers Anjouan, sa voisine apparue ensuite, puis d'Anjouan vers Mohéli pour, enfin, s'installer à Ngazidja située respectivement à 80 et 38 km de ces îles. Ngazidja a ensuite vu sa flore s'enrichir d'espèces provenant de la côte est-africaine éloignée de 300 km.

La première liste floristique globale de l'île a été établie en tenant compte de toutes les plantes se développant sur l'île, de 0 à 2 361 m d'altitude. Elle a été comparée aux listes existantes des espèces des autres îles comoriennes. La répartition dans l'océan Indien a ainsi pu être établie pour les 19 espèces nouvelles récoltées à Ngazidja (tabl. 3).

Les affinités biogéographiques des espèces de l'île ont été analysées, et la similarité de cette flore avec celle de Madagascar apparaît la plus grande. À titre d'exemple, la série à *Weinmannia* et *Tambourissa* existe à Madagascar mais aussi à Ngazidja. À Madagascar, Humbert et Cours Darne (1965) ont utilisé ces deux genres comme taxons caractéristiques pour définir les séries de végétation. Cette étude a permis d'en définir les espèces. *Weinmannia comorensis* est présente dans toutes les formations humides de 0 à 2 300 m d'altitude ; *Tambourissa leptophylla* et *T. comorensis* se rencontrent respectivement dans la forêt du Karthala et de la Grille entre 600 et 1 200 m, où elles forment la série à *Weinmannia* et *Tambourissa*.

Conclusion

Cette étude a permis d'établir la liste la plus complète des espèces végétales de l'île de Ngazidja, à partir des caractéristiques floristiques et écologiques enregistrées dans la base de données de l'herbier national des Comores sous le logiciel Brahms. Au total, 1 304 espèces ont été inventoriées, dont 70 % sont autochtones (919 espèces) et 30 % exotiques (385 espèces). Dix-neuf espèces ont été observées pour la première fois à Ngazidja, dont cinq endémiques de l'archipel et quatorze autochtones, validant ainsi notre hypothèse de départ. Les résultats de l'inventaire floristique et de la caractérisation écologique ont montré la présence d'espèces caractéristiques et constantes (car observées dans plus de 60 % des sites étudiés, Puig, 2001) par type de formation végétale, à savoir : *Euclea comorensis* dans les formations sèches et subhumides, *Weinmannia comorensis* et *Nuxia pseudodentata* dans les formations subhumides, humides et hyper-humides, ainsi que *Bruguiera gymnorhiza* dans tous les sites de mangroves. Ces quatre espèces sont également les plus résistantes aux pressions diverses et semblent s'adapter aux changements globaux.

Les résultats obtenus précisent aussi l'origine biogéographique des espèces autochtones de l'île de Ngazidja. En effet celle-ci a plus d'affinité biogéographique avec Madagascar (600 km) qu'avec la côte est-africaine pourtant plus proche (300 km) ; cela pourrait s'expliquer par l'ancienneté de l'île de Mayotte qui a ainsi pu jouer un rôle de relais dans la dispersion et la colonisation végétale depuis Madagascar vers les Comores. Le fait que les Comores soient plus jeunes explique l'absence de familles et de genres endémiques. Les genres des espèces endémiques des Comores présentes sur l'île de Ngazidja, ont leur homologue malgache.

Perspectives

Les résultats obtenus dans cette étude permettent d'envisager la rédaction d'une monographie sur la flore menacée de l'île de Ngazidja et celle d'un guide numérique tout public de la flore de cette île et de son écologie, sous la forme d'applications interactives, grâce à la disponibilité de la base de données floristique globale de l'île. Un atlas de la flore de l'île pourra être rédigé et servir de modèle pour l'ensemble de l'archipel.

Remerciements

Nos remerciements vont au programme « COI-Biodiversité » (Commission de l'océan Indien), au projet « Réseau des herbiers du Sud-Est de l'océan Indien » financé par l'Union européenne, au premier programme « Sud Expert Plantes » (SEP, 2008-2010) qui nous a permis d'accéder à l'herbier national des Comores et de commencer cette étude sur l'ensemble de l'archipel. Nous remercions aussi le 2e programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) qui nous a permis de publier nos travaux sur le cas de l'île de Ngazidja.

Nous remercions également toute l'équipe de l'herbier de Paris du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) pour avoir parrainé l'ouverture d'un herbier national aux Comores (HKM), organisé le retour des doubles collectés aux Comores, réfléchi à l'évolution de notre institution et accepté d'apporter leur expertise sur la correction de ce travail jusqu'à sa publication.

Références bibliographiques

Abdillah M., 2017
*Caractérisation écologique de la végétation sèche à baobab et biogéographie d'*Adansonia digitata *de l'archipel des Comores*. Thèse de doctorat, faculté des Sciences, département de Biologie et Écologie végétales, université d'Antananarivo, 191 p.

Aman. C., Aman G., Archel R., Guiot V., Marquet G., 2011
Plantes de Mayotte. Coll. Les guides des naturalistes, Armen factory, Tsingoni, 366 p.

Andilyat M., Ramadhoini A., Roger E., Faramalala M. H., 2016
Les plantes alimentaires négligées et orphelines des Comores. 5e édition du colloque Qualireg, université de La Réunion : 42-60.

Barbosa C., Bandeira B., 2001
Status and distribution of mangroves in Mozambique. *South African Journal of Botany*, 67 (3) : 393-398.

Barthelat F., Viscardi G, 2012
« Flore menacée de l'île de Mayotte : importance patrimoniale et enjeux de conservation ». *In : Conférence sur la conservation de la flore menacée de l'Outre-mer français*, île de La Réunion, 13-17 déc. 2010. Organisée par la Société nationale de protection de la nature et d'acclimatation de France, Paris.

Bernardi L., 1965
Flore de Madagascar et des Comores (plantes vasculaires). 93e famille, Cunoniaceae. MNHN, Paris, 61 p.

CNBM (Conservatoire botanique national Mascarin), 2012
Flore et végétation des îles éparses. CNBM, mars 2012. https://ileseparses.cbnm.org/

Daroussi A., Rajeriarison C., 2014
Caractéristiques floristiques et structurales des forêts denses humides des Comores. Identification et statut de conservation des espèces les plus utilisées. *Afrique Sciences* : 269-295.

Davis R., 2009
Guide des plantes ligneuses des Comores : arbres, arbustes et lianes. CD-ROM format HTML. 193 images.

Duvigneaud P., 1969
Méthode d'étude quantitative de la végétation. Masson, Paris, 314 p.

Fontaine B., Abdou A., Bidault E., Hugel S., Pignal M., Rouhan G., 2012
Connaître pour conserver : le patrimoine naturel caché des Comores. Rapport de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, Paris.

Humbert H., Cours Darne G., 1965
Notice de la carte internationale du tapis végétale Madagascar. Trav. Sec. Sc. Techn. Inst. Fr. Pondichéry, hors-série n° 6, 162 p.

Kamaria H., Roger E., 2011
Caractérisation écologique des mangroves et essai d'évaluation du piégeage de carbone par les palétuviers : cas de l'île de Ngazidja. Mémoire de DESS, île de Ngazidja, Antanarivo, 75 p.

Labat J. N., Keith P., Abdou A., 2006
Inventaire faunistique des Comores et inventaire botanique. MNHN, Paris, 106 p.

Mouly A., 2009
Étude systématique des Rubiaceae de Mayotte et des Comores. MNHN, Paris, 250 p.

Pascal O., 2002
Plantes et forêts de Mayotte. Patrimoines naturels. MNHN, Paris, 108 p.

Pascal O., Labat J. N., Pignal. et Soumille O., 2001
Diversité, affinités phytogéographiques et origines présumées de la flore de Mayotte (archipel des Comores). *Systematics and Geography of Plants*, 71 (2) : 1101-1123.

Puig H., 2001
La forêt tropicale humide. Belin, Paris, 160 p.

Razakanirina H., 2016
Utilisation des ressources en bois, caractéristiques anatomiques du bois et vulnérabilité écologique par rapport au changement climatique (cas des mangroves du delta de Ttsiribihina et de la réserve de biosphère de Sahamalaza. Thèse de doctorat en Sciences de la vie et de l'environnement-Sciences du végétal, université d'Antananarivo, 177 p.

Thiers B., 2016
Index Herbariorum: a global directory of public herbaria and associated staff. Botanical Garden's Virtual Herbarium, New York. http://sweetgum.nybg.org/science/ih/

Chapitre 26

Rôle des facteurs écologiques dans la répartition des bryophytes dans la forêt de Vohimana, Madagascar

Ainazo Herilala ANDRIAMANANTENA
Université de Mahajanga, Madagascar

Fenozo Heritiana ANDRIAMANANTENA
Université de Mahajanga, Madagascar

Zolalaina ANDRIAMANANTENA
Université de Mahajanga, Madagascar

Hery Lisy Tiana RANARIJAONA
Université de Mahajanga, Madagascar

Introduction

Madagascar est un pays insulaire situé dans l'océan Indien, séparé de la côte sud-est de l'Afrique par le canal du Mozambique. Avec une superficie de 587 000 km², Madagascar a le privilège d'être la quatrième plus grande île du monde (ALLORGE, 2007). Ce pays fait partie des hot-spots de biodiversité identifiés dans le monde du fait d'une biodiversité très riche et menacée (MYERS *et al*., 2000 ; MOORE, 2009 ; RABEARIVONY *et al*., 2010).

Parmi les écosystèmes *malagasy* qui abritent une biodiversité élevée, se trouvent les forêts orientales classées au patrimonial mondial de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco). Celles-ci constituent un long corridor forestier s'étalant de Marojejy (au nord) jusqu'à Midongy (au sud) et qui comprend des forêts naturelles classées, des forêts domaniales, des aires protégées et des surfaces anthropisées.

À Madagascar, la flore et la faune sont remarquables par leur extraordinaire diversité et leur exceptionnel niveau d'endémisme. De nombreux travaux en systématique et en écologie ont été réalisés sur les fougères et les angiospermes

(Gautier et Goodman, 2009). Ainsi, 14 000 espèces d'angiospermes – soit 5,3 % de la flore mondiale – ont été recensées avec un taux d'endémisme de 85 % (Gautier et Goodman, 2009). La flore ptéridophytique *malagasy* est également riche, avec 586 espèces – soit 4,4 % des 13 500 espèces mondiales de fougères et de lycophytes – dont 256 sont endémiques (soit un taux de 47,3 %, Rakotondrainibe, 2009).

Selon Pharo *et al*. (1999) et Mishler (2001), les bryophytes constituent le groupe le plus diversifié des plantes terrestres dans le monde après celui des plantes à fleurs. Elles colonisent généralement les zones humides et ombragées sur les talus, les rochers et les terres.

Cependant, en raison de la difficile identification des bryophytes des régions tropicales et du manque de littérature les concernant, celles-ci ont rarement été inventoriées, ni inclues, dans les enquêtes sur la biodiversité de ces régions. C'est le cas des bryophytes *malagasy* qui restent méconnues malgré leur rôle de plantes bio-indicatrices de la bonne santé des écosystèmes et des écosystèmes dégradés (notamment par polluants micro-organiques et métalliques) (Gombert *et al*., 2004 ; Leblond *et al*., 2004 ; Ah-Peng et Rausch de Traubenberg, 2005 ; Cassimans, 2015).

Les bryophytes *sensu lato malagasy* ont en effet été peu étudiées en systématique et comme en écologie. Elles passent souvent inaperçues du fait de leur petite taille. Les connaissances en bryologie sont moins développées que celles relatives aux phanérogames (Schuster, 1983), notamment en ce qui concerne certains aspects de leur écologie tels que l'altitude à laquelle elles se développent et leur cycle de développement (Tan et Pocs, 2000). Une étude sur les bryophytes *sensu lato malagasy*, plus précisément sur les *Marchantiophyta* (ou hépatiques à thalles) et les *Anthocerotophyta* (ou anthocérotes) de la réserve de Vohimana, a toutefois été réalisée en 2010 (Andriamanantena, 2012). Suite à cette étude, il a paru intéressant de mieux explorer la systématique et l'écologie des bryophytes *malagasy* dans des écosystèmes précis, notamment dans les forêts humides de la région orientale où il n'existe aucune donnée en la matière. Ce travail constitue ainsi la première étude décrivant et analysant l'écologie des communautés de bryophytes dans les milieux forestiers situés à l'est de Madagascar, plus précisément dans la forêt de Vohimana. L'objectif global de cette étude était d'étudier et de réviser la systématique et l'écologie des bryophytes dans cette forêt, et son objectif spécifique d'y inventorier les bryophytes.

Matériels et méthodes

Matériel biologique

Les spécimens utilisés comprennent les collections récoltées au cours de la prospection.

Études préliminaires

Des études bibliographiques ont été réalisées afin d'acquérir le maximum d'informations et de connaissances sur le groupe botanique et le site d'étude ciblés, ainsi que sur les méthodes à appliquer lors des travaux de terrain. Cette documentation a beaucoup facilité les travaux de terrain.

Choix du site d'étude

Le site de l'étude se situe au sein de la réserve de Vohimana située dans la partie est de Madagascar (fig 1). Cette réserve comprend des forêts denses humides sempervirentes et des formations forestières d'altitude.

Ce milieu forestier a été choisi du fait de sa localisation dans la partie orientale de Madagascar qui est une zone pluvieuse et donc favorable à la présence de bryophytes. Il s'agit également d'une zone de montagnes où se situent des forêts primaires.

Le choix de ce site d'étude a été également fait en fonction de son bon état de conservation, de son accessibilité et de sa topographie afin qu'il soit possible de mettre en pratique le protocole de recherche. La réserve de Vohimana est gérée par l'organisation non gouvernementale (ONG) malgache « L'Homme et l'environnement ».

Figure 1

Localisation de la forêt de Vohimana.

Source : Andriamanantena, 2016. Projection WGS _1984_UTM.
Données : Mata (fév. 2014), Google Earth (2016). Réalisation : F. H. Andriamanantena.

Inventaire

Des prospections ont été effectuées dans le site d'étude et au cours desquelles un inventaire des plantes appartenant au groupe des bryophytes a été réalisé et des échantillons collectés. Pour la collecte des bryophytes, la hauteur des arbres vivants a été considérée, l'ouverture de la canopée était de 10 % et la distance par rapport au cours d'eau était de 1 m.

Méthodes de collecte des échantillons

Afin d'obtenir une bryodiversité aussi complète que possible, un maximum de supports susceptibles d'accueillir ces espèces ont été identifiés. Ces supports appartiennent à deux grands groupes de compartiments écologiques :

– le support minéral : les rochers ;

– le support végétal : arbres vivants et bois pourris (*i.e.* quels que soient sa nature et son état de dégradation.

Relevés écologiques : le protocole « Mov Clim »

Le protocole « Mov Clim » développé par Ah-Peng (2007) a été adopté afin de réaliser l'inventaire floristique et les relevés écologiques « micro-habitats-bryophytes » le long des gradients altitudinaux. Celui-ci consiste à relever des échantillons de bryophytes sur des micro-habitats présents dans différents milieux en fonction de l'altitude. Ce protocole prend en compte le type de support, la position topographique et le contexte microstationnel afin d'étudier et de définir les micro-habitats spécifiques aux bryophytes.

Méthode d'analyse statistique

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée afin de mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et repérer ainsi celles les mieux corrélées. Cette analyse permet de montrer la corrélation écologique des espèces vis-à-vis des différentes variables étudiées (formation végétale, ouverture de la canopée, altitude, topographie, distance par rapport au cours d'eau, nature du support), afin de définir les variables qui déterminent les groupes d'espèces selon les deux types de nature de supports considérés durant l'inventaire de terrain et suivant les micro-habitats.

Résultats

Liste floristique des bryophytes de Vohimana

Cette étude a permis de produire la liste floristique des bryophytes de la forêt de Vohimana à l'est de Madagascar. Deux groupes de bryophytes – les *Marchantiophyta* et les *Anthocerotophyta* – ont été étudiés. Le tableau 1 présente leur classification botanique.

Tableau 1
Classification des spécimens collectés.

Règne	Embranchement	Classe	Sous-classe	Ordre	Famille
Plantae	Marchantiophyta	Marchantiopsida	Marchantidae	Marchantiales	Dumortieraceae Marchantiaceae
				Pallaviciniales	Pallaviciniaceae
				Metzgeriales	Aneuraceae Metzgeriaceae
				Porellales	Frullaniaceae Lejeuneaceae Porellaceae Radulaceae
				Jungermanniales	Calypogeiaceae Cephaloziaceae Lepidoziaceae Plagiochilaceae Adelanthaceae
	Anthocerotophyta	Anthocerotopsida		Anthocerotales	Anthocerotaceae

Préférences écologiques des bryophytes

La figure 2 présente l'évaluation de la préférence écologique des bryophytes selon les différentes variables étudiées.

La figure 2 montre que :

La formation végétale est étroitement corrélée à l'ouverture de la canopée dont les coefficients de corrélation sont respectivement – 0,803 et – 0,695. Ces deux variables sont corrélées négativement avec un facteur de corrélation F2, ou axe 2, de 21,84 %).

Le premier facteur de corrélation (F1) renferme 35,68 % d'informations. La distance par rapport au cours d'eau (coefficient de corrélation 0,826) est la plus corrélée positivement et elle est corrélée à la nature de support (0,752). L'altitude (0,739) et la topographie (0,570) sont fortement et positivement corrélées avec l'axe F1.

Aucune corrélation n'est décelée entre l'altitude et la formation végétale ni entre l'ouverture de la canopée et la distance par rapport au cours d'eau.

Figure 2

Représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2.

FV : formation végétale, OC : ouverture de la canopée, Alt : altitude (m), Top : topographie, DCE : distance par rapport au cours d'eau (m), NS : nature du support.

Figure 3

Représentation des individus sur les plans factoriels F1 et F2.

Dans la figure 3, on note que :

Bazzania nitida, Bazzania decrescens, Frullania serrata var. *serrata, Acanthocoleus madagascariensis* et *Cololejeunea saltuum,* sont des espèces fortement corrélées avec l'axe F1.

Caudalejeunea lewallei, Plagiochila tenebrans et *Bazzania nitida* sont fortement corrélées avec les variables « distance par rapport au cours d'eau » et « nature du support ». Les espèces caractéristiques des milieux humides se retrouvent sur les bois morts et décomposés ainsi que sur les troncs d'arbres, à une hauteur de 0 à 50 cm.

Les espèces *Plagiochila granditexta, Riccardia nudiflora* et *Plagiochila integerrima* possèdent, quant à elles, une exigence écologique remarquable. En effet, le nombre et la diversité des individus varient en fonction de l'altitude et de la topographie. Ces espèces sont présentes en haute altitude (sur la crête des montagnes).

Par contre, *Lejeunea isophylla, Bazzania nitida, Bazzania decrescens* et *Frullania arecae,* etc., poussent en basse altitude ou dans les bas-fonds.

Concernant le facteur F2, de nombreuses espèces sont négativement corrélées (axe vertical). Il s'agit, par exemple, de *Calypogeia microstipula, Bazzania nitida, Lejeunea capensis* et *Lopholejeunea onraedtii.* Ces espèces se trouvent dans la forêt primaire à canopée fermée, sur les troncs de diamètres à hauteur de poitrine supérieurs à 50 cm des grands arbres supérieurs. Par contre, *Plagiochila boryana* est une espèce qui pousse sur des troncs d'arbres en milieu ouvert.

Discussion

Cinquante-quatre espèces regroupées en trente genres et quatorze familles ont été inventoriées dans la réserve de Vohimana, dont cinq familles appartenant aux hépatiques à thalles, huit familles appartenant aux hépatiques à feuilles et une famille appartenant aux anthocérotes. Les espèces les plus représentées sont *Bazzania nitida, Plagiochila integerrima*, *Plagiochila repanda* var. *repanda, Plagiochila repanda* var. *perrotana, Bazzania decrescens, Mastigolejeunea auriculata* et *Dumortiera hirsuta.*

Les anthocérotes sont le groupe le plus rare. Dans la Grande Île, la classe des *Anthocerotopsida* est représentée par trois espèces appartenant à deux familles et à trois genres (Marline *et al*., 2012). Dans l'île de La Réunion, cette classe est représentée par cinq espèces groupées dans deux familles et quatre genres (Ah-Peng, 2007). En Amérique du Nord, elle est composée de dix-sept espèces réparties en trois familles et cinq genres (Stotler et Crandall-Stotler, 2005). Dans l'étude présentée ici, une espèce d'anthocérotes, non citée dans la liste floristique de Madagascar, a été observée dans la réserve de Vohimana lors de la mission bryophytique sur les hépatiques à thalles et les anthocérotes menée en 2011 (Andriamanantena, 2012), faisant d'elle l'unique espèce d'anthocérotes rencontrée à Vohimana. Il s'agit de *Folioceros fuciformis* Mont., également rencontrée dans deux îles des Mascareignes (île de La Réunion et Rodrigues) et

dans un pays d'Afrique de l'Est, la Tanzanie. Cette espèce est la moins distribuée des espèces d'anthocérotes en Afrique (Wigginton, 2009). Elle est également présente en Amérique du Nord (Stotler et Crandall-Stotler, 2005).

Dans l'ensemble des sites d'étude, la famille des Lejeuneaceae, puis celle des Plagiochilaceae, sont les familles les plus riches en espèces dans les compartiments écologiques (composés des supports minéral et végétal). Elles sont présentes tout le long des gradients altitudinaux. Ce résultat confirme l'affirmation de Gradstein *et al.* (2003) spécifiant que la grande famille des Lejeuneaceae est essentiellement tropicale et qu'elle est représentée au niveau mondial par 90 genres et près de 1 000 espèces. Il en est de même pour la famille des Plagiochilaceae qui est considérée comme l'une des plus grandes familles d'hépatiques à feuilles, après celle des Lejeuneaceae dont la plupart des 500 espèces au niveau mondial se trouvent dans les régions tropicales humides (Inoue, 1984 ; So et Grolle, 2000).

Les hépatiques (ou *Marchantiophyta*) sont représentées par deux classes : *Marchantiopsida* et *Jungermaniopsida*. Les anthocérotes (ou *Anthocerotophyta*) sont représentés par la classe des *Anthocerotopsida* dont une seule espèce, *Folioceros fuciformis* Mont., a été inventoriée.

Conclusion et perspectives

La spécificité des bryophytes dans la réserve de Vohimana est principalement expliquée par celle des hépatiques, plus particulièrement de la famille des Lejeuneaceae, suivie par celle des Plagiochilaceae. Les familles Porellaceae, Adelanthaceae et Anthocerotaceae, sont relativement pauvres en nombre d'individus.

Ce résultat confirme que la distribution écologique des espèces de bryophytes est corrélée à différentes variables, à savoir l'altitude et la formation végétale du site. Le nombre d'espèces varie avec l'altitude. Différentes espèces de bryophytes (comme *Plagiochila integerrima, Riccardia nudiflora ou Plagiochila grandtexta*) sont indicatrices des gradients altitudinaux. Toutefois, celles de la famille des Lejeuneaceae sont présentes quelle que soit l'altitude.

Cette étude a également mis en évidence que la diversité et la distribution des bryophytes sont fortement liées à la présence des supports tels que les bois pourris ou les roches. Les bois morts ou les bois pourris présentent un panel important d'espèces de bryophytes. Les différentes espèces de bryophytes se trouvent en quantité sur les bois pourris. Certaines d'entre-elles colonisent aussi les troncs d'arbres, les rochers humides et ombragés au bord des rivières. À Madagascar, les espèces de Marchantiales sont plus fréquentes sur les terres humides et moins sur les rochers.

Les spécimens sont rencontrés en bordure des cours d'eau, soit dans les forêts. La forêt présente une richesse spécifique en bryophytes et une diversité de micro-habitats plus élevées que celles des rives des cours d'eau. La diversité des espèces, le nombre et la nature des micro-habitats disponibles ainsi que la topographie de la forêt sont étroitement liés. Les conditions humides et ombragées des forêts tropicales – comme celles de la forêt de Vohimana – favorisent la richesse en bryoflore.

La principale menace qui pèse sur les bryophytes de Madagascar est la disparition de leurs habitats du fait des activités humaines – déforestation causée par l'agriculture sur brûlis, exploitation forestière, production de charbon, exploitation minière des ressources forestières liée à la pression anthropique – et des changements climatiques.

À Vohimana, les habitats des espèces de bryophytes sont perturbés par le « Tavy » (culture sur brûlis) et par les exploitations forestières ou pour le bois de feu. En effet, la forêt primaire de la réserve de Vohimana est déboisée à un rythme élevé obligeant son gestionnaire, l'ONG « Homme et environnement », à intervenir rapidement afin d'enrayer ce phénomène de déforestation, au risque de voir disparaître ce joyau de biodiversité dans quelques années.

La préservation des habitats des bryophytes nécessite d'informer et de sensibiliser tout un chacun ainsi que de mettre en place des mesures de conservation et de gestion forestière durable. Une étude plus approfondie devra être menée afin de comprendre la répartition écologique des bryophytes, et leur rôle d'indicateur des milieux aquatiques et terrestres pour les polluants micro-organiques et métalliques et, *in fine,* appuyer leur valorisation.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ONG « L'Homme et l'environnement », ainsi que toute l'équipe qui a participé à la réalisation de cette mission bryophytique à Vohimana.

Références bibliographiques

Ah-Peng C., 2007
Diversité, distribution et biogéographie des bryophytes des coulées de lave du volcan Piton de la Fournaise (La Réunion, France). Université de La Réunion, Saint-Denis, 438 p.

Ah-Peng C., Rausch de Traubenberg C., 2005
Bryophytes aquatiques bio-accumulateurs de polluants et indicateurs écophysiologiques de stress : synthèse bibliographique. *Cryptogamie Bryologie*, 25 : 205-248.

Allorge L., 2007
Plantes de Madagascar. Les éditions Eugen Ulmer, Paris, 224 p.

Andriamanantena A. H., 2012
Les hépatiques à thalles et anthocérotes de la réserve de Vohimana (Madagascar) : diversité, morphologie et anatomie. Mémoire de master 2, université de Mahajanga, 52 p.

Cassimans C., 2015
Les bryophytes, l'érable. *Revue trimestrielle de la société royale cercle des Naturalistes de Belgique asbl*, 5 p.

Gautier L., Goodman S., 2009
« Introduction à la flore ». *In* Goodmann S. (éd.) : *Paysages naturels et biodiversité de Madagascar*, MNHN, Paris : 103-139.

Gombert S., Rausch de Traubenberg C., Losno R., Leblond S., Colin J. L., Cossa D., 2004
Biomonitoring of element deposition using mosses in the 2000 French survey: identifying sources and spatial trends. *Journal of Atmospheric Chemistry,* 49 : 479-502.

Gradstein S. R., Reiner-drehwald M. E. Schneider H., 2003
A phylogenetic analysis of the genera of Lejeuneaceae (Hepaticae). *Botanical Journal of the Linnean Society,* 143 : 391-41.

Grolle R., 2002
The Hepaticae and Anthocerotae of the subantarctic and temperate islands in the Eastern Southern Hemisphere (90°E to 0°). An annotated catalogue. *Journal of Bryology,* 24 : 57-80.

Inoue H., 1984
*The genus Plagiochila in Southeast Asi*a. Academic Scientific Books, Tokyo, 142 p..

Leblond S., Gombert S., Colin J. L., Losno R., Rausch de Traubenberg C., 2004
Biological and temporal variations of trace element concentrations in the moss species *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. *Journal of Atmospheric Chemistry,* 49 : 95-110.

Marline L., Andriamiarisoa R., Bardat J., Chuah-petiot M., Hedderson T., Reeb C., Strasberg D., Wilding N., Ah-Peng C., 2012
Checklist of the bryophytes of Madagascar. *Cryptogamie, Bryologie,* 3 : 199-255.

Mishler B.D., 2001
The biology of bryophytes. Bryophytes aren't just small tracheophytes. *American Journal of Botany*, 88 : 2129-2131.

Moore P., 2009
Tropical forests-library of Congress. 54 p.

Myers N., Mittermeir R. R., Mittermeir C. G., Da Fonseca G. A., Kent J., 2000
Biodiversity hotspots conservation priorities. *Nature*, 403 : 853-858.

Pharo E. J., Beattie A. J., Binns D., 1999
Vascular plants diversity as a surrogate for bryophyte and lichen diversity. *Conservation Biology*, 13 : 282-292.

Rabearivony J., Thorstrom R., Roland L. A. R. D., Rakotondratsima M., Andriamalala T. R. A., Sam T. S., Razafimanjato G., Rakotondravony D., Raselimanana A. P. Rakotoson M., 2010
Protected area surface extension in Madagascar: do endemism and threatened species remain useful criteria for site selection? *Madagascar Conservation and Development*, 5 :35-47.

Rakotondrainibe F., 2009
« Diversité, écologie et distribution de la flore ptéridologique ». *In* Goodman S. (éd.) : *Paysages naturels et biodiversité de Madagascar*, MNHN, Paris : 141-160.

Schuster R. M., 1983
« Phytogeography of the Bryophyta. New Manual of Bryology ». *In* Schuster R. M. (ed.) : *New manual of bryology*, vol. 1. Nichinan, The Hattori Botanical Laboratory : 892-1070.

Shaw J., Goffinet B., 2000
Bryophyte biology. Cambridge University Press, 476 p.

So M. L., Grolle R., 2000
Studies on *Plagiochila* sect. *Plagiochila* (Hepaticae) in East and South Asia. *Journal of Bryology*, 22 : 17-28.

Stotler R. E., Crandall-Stotler B., 2005
A revised classification of the Anthocerotophyta and a checklist of the hornworts of North America, North of Mexico, *The Bryologist*, 108 : 16-26.

Tan B. C., Pócs T., 2000
« Bryogeography and conservation of bryophytes ». *In* Shaw A. J., Goffinet B. (eds) : *Bryophyte Biology*, Cambridge University Press : 403-448.

Wigginton M., 2009
Checklist and distribution of the liverworts and hornworts of sub-Saharan Africa, including the East African islands (edition 3). *Tropical Bryology Research Reports*, 8 : 1-114.

Chapitre 27

Dynamique spatio-temporelle d'une méga-mangrove *malagasy*

Marais maritime de Bombetoka

Fenozo Heritiana Andriamanantena
Université de Mahajanga, Madagascar

Hery Lisy Tiana Ranarijaona
Université de Mahajanga, Madagascar

Tahiana Andriaharimalala
CNRE, Madagascar

Ainazo Herilala Andriamanantena
Université de Mahajanga, Madagascar

Zolalaina Andriamanantena
Université de Mahajanga, Madagascar

Eric Delaitre
IRD, France

Jacques Iltis
IRD, France

Introduction

Dans le monde, 124 régions littorales marines possèdent un écosystème de mangroves (Lebigre, 2010 ; Andriamanantena, 2015). Le continent africain possède, à lui seul, plus de 3,2 millions d'hectares (Mha) d'écosystèmes de mangroves, soit 19 % environ de la superficie mondiale, avec la répartition suivante : 1,5 Mha sur le littoral atlantique occidental (soit 49 %), 0,4 Mha sur le littoral atlantique central (14 %), 1,2 Mha sur le littoral de l'océan Indien (37 %) (Lebigre, 2010 ; Andriamanantena, 2015). Situé dans l'océan Indien, Madagascar possède plus de 425 000 ha de marais maritimes dont 327 000 ha de mangroves (soit 2 % de la superficie des mangroves dans le monde) (Jones *et al.,* 2016 et 2014). La côte occidentale *malagasy* couvre 98 % de cette superficie et la côte orientale 2 % seulement (Usaid, 2008). Bien que proche du centre urbain de Mahajanga, une méga-mangrove, de type deltaïque et estuarien, se situe dans le marais maritime de Bombetoka. Cette mangrove–la plus grande mangrove de Madagascar–subit des pressions anthropiques en forte augmentation depuis quelques années. Les objectifs principaux du cette étude

ont été de caractériser, d'une part, la composition floristique et structurale de la végétation de cette mangrove et, d'autre part, son évolution spatiale et temporelle entre 1995 et 2015.

Matériels et méthodes

Site d'étude

Le site d'étude est localisé dans les mangroves de l'estuaire du fleuve Betsiboka ou, plus précisément, dans le marais maritime de Bombetoka qui se trouve dans la région de Boeny (fig. 1). Ce marais a une superficie de 72 232 ha (Andriamanantena, 2019), et il est situé approximativement entre les longitudes 46°15' E et 46°40' E et les latitudes 15°50' S et 16°05' S.

Figure 1

Localisation du marais maritime de Bombetoka.

Source : Andriamanantena, 2016. Projection WGS _1984_UTM. Données : Spot (21 sept. 2015), Google Earth (2016). Réalisation : F. H. Andriamanantena.

Matériels

Matériels biologiques

Les matériels biologiques ont été constitués par les espèces de mangrove proprement dites, à savoir : *Avicennia marina, Heritiera littoralis, Lumnitzera racemosa, Sonneratia alba, Bruguiera gymnorrhiza, Ceriops tagal, Rhizophora mucronata* et *Xylocarpus granatum.*

Images satellitaires

Des images satellitaires Landsat, Spot et Sentinel ont été utilisées dans le cadre de notre étude.

Des images Landsat datant de 1995 à 2015 ont été utilisées, 2015 étant l'année de lancement du projet « Mangrove-Madagascar-Bombetoka » (projet Mambo) qui a étudié la dynamique des mangroves sur cette période. Ces images sont issues des capteurs de Landsat 4, 5, 7 et 8. À partir de Landsat 4, quatre capteurs différents se sont succédé (Andriamanantena, 2019) : le capteur « Thematic Maper » (TM) pour Landsat 4 et 5 ; le capteur « Enhanced Thematic Mapper Plus » (ETM+) pour Landsat 7 ; les capteurs « Operational Land Imager » (OLI) et « Thermal Infrared » (TIRS) pour Landsat 8 (Northrop, 2015).

Deux images Spot ont été également utilisées, dont l'une provient du satellite Spot 6 (en mode multispectral MS), le 21 septembre 2015 à marée haute, et l'autre du satellite Spot 7 en mode MS également, le 28 septembre 2015 à marée basse. Le capteur embarqué à leur bord peut observer des zones jusqu'à 60 km de large et avec des résolutions nettement meilleures pouvant atteindre 1,5 m en mode panchromatique et 6 m en mode MS (Cnes, 2003 ; Andriamanantena, 2019).

Deux images produites par les satellites Sentinel (Sentinel-2A et 2B), lancés respectivement en 2015 (2A) et 2017 (2B), ont été également utilisées (Andriamanantena, 2019).

Méthodes

Études bibliographiques et webographiques

Des études bibliographiques et webographiques, ainsi qu'une sortie préliminaire sur site, ont été réalisées avant les travaux de terrain. Elles ont permis d'avoir des informations sur les mangroves de Bombetoka.

Relevés écologiques

Deux types de relevés écologiques, le transect de Duvigneaud et le placeau de Braun-Blanquet, ont été utilisés. Dans ces deux méthodes, toutes les espèces végétales présentes ont été recensées et tous les diamètres pris en compte afin de connaître le potentiel de régénération de chaque site.

La méthode du transect de Duvigneaud consiste à étudier des formations hétérogènes. Le transect suit une ligne imaginaire, dont l'orientation est toujours perpendiculaire à la mer ou à un chenal (Duvigneaud, 1980). Il commence de la mer ou du front de la mer vers la terre ferme. Le transect suit une ligne de 10 m x 100 m à travers la végétation, subdivisée en carrés contigus de 10 m x 10 m. Le transect peut être discontinu ou continu (Duvigneaud, 1946).

La méthode de placeau de Braun-Blanquet permet non seulement de connaître la répartition des espèces mais aussi la caractérisation floristique, structurale et horizontale de la végétation (Braun-Blanquet, 1965). La surface du placeau a été de 10 m x 10 m, répartie en quatre placettes de 5 m x 5 m.

Méthodes de télédétection

Acquisition des données

Des images d'archives sur des zones précises ont été utilisées selon les besoins de notre étude. Ces images, gratuites ou payantes, sont disponibles en téléchargement ou accessibles via une interface web. Les acquisitions des images ont été programmées comme celles des satellites Spot 6/7. Par ailleurs, des données d'archives gratuites sur une période de vingt ans (images Landsat) et de deux ans (images Sentinel), ont permis le suivi de l'évolution spatio-temporelle de la mangrove. Les images ont été sélectionnées puis téléchargées avec leurs métadonnées, selon des critères tels que le pourcentage de la couverture nuageuse du site d'étude et la date d'acquisition de l'image. Cette date doit en effet coïncider avec la saison sèche (Andriamanantena, 2019).

Prétraitement

Toutes les images satellitaires utilisées utilisent les mêmes systèmes de projection cartographique (*Universal Transverse Mercator* UTM 38S) et systèmes géodésiques (WGS 84, *World Geodetic System* 1984). Seules les images de *Google Earth* ont été corrigées et projetées selon les systèmes WGS 84 et UTM 38S en faisant la conversion du système de géoréférencement.

La zone d'étude étant le marais maritime de Bombetoka, l'extraction des informations à partir des images a été réalisée depuis l'amont de la commune rurale de Marovoay, juste avant la diffluence, jusqu'à l'aval de la commune rurale de Boanamary, lieu d'affluence du fleuve Betsiboka.

La fausse couleur est la technique la plus utilisée pour obtenir une bonne visualisation de la végétation qui apparaît en rouge sur les images. Cette composition colorée permet de pré-classer et d'interpréter les photos avant de réaliser une « vérité de terrain » (Andriamanantena, 2019).

Traitement

L'indice de végétation utilisé est celui du *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Cet indice est le plus connu et le plus utilisé (Pham et He, 2012). Il permet de décrire la couverture végétale à un moment donné ; sa formule est la suivante :

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

où *PIR* est la bande proche infrarouge et *R* la bande rouge.

Le NDVI est compris entre -1 et 1. Un plan d'eau (mer, fleuve, mare, etc.) a, en théorie, des valeurs de NDVI inférieures à 0. Les valeurs comprises entre 0 et 0,2 correspondent la plupart du temps à un sol nu (vase, tanne, sol nu proprement dit, etc.), alors que les valeurs supérieures ou égales à 0,2 indiquent une végétation avec une activité chlorophyllienne marquée (Andriamanantena, 2019). Cette valeur de 0,2 est variable d'un capteur à l'autre en fonction des

bandes proche infrarouge et rouge, et en fonction de la résolution spatiale ; elle est donnée ici à titre indicatif. Plus cet indice augmente, plus la végétation est dense ou encore très jeune, avec une forte activité chlorophyllienne. Cet indice a été calculé à partir du logiciel ENVI.

Deux méthodes ont été utilisées pour réaliser l'extraction des mangroves à partir des images : le seuillage et la classification.

Le seuillage est une méthode qui repose sur l'affectation des pixels à une classe de végétation (mangroves ou autres) en fonction des valeurs minimales et maximales de seuil définies par l'opérateur. Des tests ont été réalisés pour identifier les valeurs pour les mangroves et celles des autres formations végétales (Andriamanantena, 2019).

La classification sert à définir et classifier numériquement les pixels d'une image (Pham et He, 2012). Une première interprétation visuelle sur l'image a été faite afin d'identifier les différentes classes d'occupation des sols (eau, sol, végétation, etc.) présentes en fonction de leurs couleurs et grâce à une classification non supervisée. Grâce aux observations de terrain, une classification supervisée a ensuite permis de rectifier et d'améliorer cette première interprétation.

Résultats

Caractéristiques floristiques

Au total, 38 espèces appartenant à 36 genres et 22 familles ont été inventoriées. Le nombre d'espèces par famille varie d'une à cinq espèces. Les espèces de palétuviers présentes dans les mangroves de Bombetoka ont été identifiées (tabl. 1).

Tableau 1
Liste des espèces de palétuviers recensées dans les mangroves de Bombetoka.

Familles	Noms scientifiques	Noms vernaculaires
Avicenniaceae	*Avicennia marina* Vierch	*Afiafy*
Combretaceae	*Lumnitzera racemosa* Wild	*Lovinjo*
Lythraceae	*Sonneratia alba* Sm.	*Farafaka, Rogno*
Malvaceae	*Heritiera littoralis* (Dryand)	*Moromony*
Meliaceae	*Xylocarpus granatum* (Koenig)	*Antavela, fobo*
Rhizophoraceae	*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lank	*Tangampoly*
	Ceriops tagal (C. B. Robinson)	*Honkovavy, tangavavy*
	Rhizophora mucronata (Lewis) Lank	*Honkolahy, tangalahy*

Source : Andriamanantena, 2019

Six familles de palétuviers, comprenant huit genres et huit espèces, existent à Bombetoka, dont trois espèces de la famille des Rhizophoraceae.

Dynamique sur les vingt dernières années

La figure 2 montre la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le marais maritime de Bombetoka, de l'amont vers l'aval, entre 1995 et 2015.

Figure 2

Carte d'évolution de l'occupation du sol entre 1995 et 2015 d'après les images Landsat.

Réalisation : F. H. Andriamanantena, J. Iltis et E. Delaitre, 2017. Projection WGS _1984_UTM.
Données : Landsat (1995 à 2015).

La caractérisation de la dynamique spatio-temporelle de la région par imagerie optique Landsat sur vingt ans a été réalisée grâce à des calculs de NDVI et a permis de cartographier les grands types de milieu (eau, sol nu, végétation) de ce marais.

Une évolution vers l'aval est observée entre 1995 et 2015. En 2015, des pseudo-îlots nouvellement formés représentaient 4 % de la superficie ; 80 % du marais maritime de Bombetoka sont restés stables durant cette période. En effet, après 1995, des sédiments, ou des sols nus sur les bancs de vase, se sont déposés sur les berges des pseudo-îlots en aval et dans la zone marine. Ces dépôts de sédiments ont entraîné une augmentation de la surface de ces pseudo-îlots, ainsi que de la berge des rives, ce qui constitue une menace pour la végétation. En effet, ces dépôts de sédiments entraînent la formation de sols nus et le

rétrécissement des canaux entre les pseudo-îlots. En 1995, le sol dénudé représentait 60 % du marais maritime de Bombetoka. Puis, la superficie des sols a augmenté de 12 % entre 1995 et 2015. De nombreuses végétations, surtout constituées de palétuviers, se sont installées sur la vase depuis 1995. Entre 1995 et 2015, ces végétations ont augmenté de 3 %. Deux nouveaux pseudo-îlots sont apparus récemment et des palétuviers s'y installent.

Discussion

Richesse et diversité floristique

Grace aux méthodes de Duvigneaud et de Braun-Blanquet utilisées pour l'acquisition des données sur le terrain, plusieurs paramètres ont été mesurés afin d'analyser les structures des peuplements végétaux. Ces méthodes ont été également utilisées dans de nombreuses études (Jeannoda et Roger, 2008 ; Andriamalala, 2007). La diversité du marais maritime de Bombetoka (38 espèces, appartenant à 36 genres et 22 familles) paraît faible comparée à celle des mangroves à l'échelle mondiale : 53 à 75 espèces, 8 à 23 familles, 12 à 32 genres (FAO, 1994). Cependant, elle est de même niveau que celle des écosystèmes de mangrove du Bénin, où l'inventaire floristique a identifié 37 à 81 espèces de plantes suivant la localisation (FAO, 2018).

Au niveau national, Madagascar possède huit espèces de palétuviers (Jeannoda et Roger, 2008), à savoir : *Avicennia marina, Lumnitzera racemosa, Sonneratia alba, Heritiera littoralis, Xylocarpus granatum, Bruguiera gymnorrhiza, Ceriops tagal* et *Rhizophora mucronata.* Ces espèces se répartissent en huit genres et six familles. Elles sont toutes présentes à Bombetoka. Par ailleurs, une étude sur les mangroves de Mariarano, chef-lieu de la commune qui se trouve à environ 65 km au nord de Mahajanga-ville, dans le district de Mahajanga II, a inventorié également les huit espèces de palétuviers de Madagascar (Andriamalala, 2007). En revanche, à Boanamary, commune rurale située au sud de la ville de Mahajanga, cinq espèces seulement sont présentes : *Avicennia marina, Rhizophora mucronata, Ceriops tagal, Xylocarpus granatum* et *Lumnitzera racemosa* (Andriamalala, 2007).

Nos résultats ont également montré que la diversité des espèces de mangrove varie selon la position par rapport au fleuve. Ainsi, en amont de ce dernier, 31 espèces, réparties en 29 genres et 18 familles, ont été inventoriées et, en aval, neuf espèces, réparties en neuf genres et six familles. Cette variation de la répartition spécifique dépend en effet du type de sol, du réseau hydrique (eau douce ou de mer) et des conditions écologiques de chaque localité ou pseudo-îlot (Andriamanantena, 2019). Dans l'ensemble, les palétuviers se développent dans la partie avale du marais maritime de Bombetoka, ainsi que sur les deux rives du fleuve. En remontant vers l'amont, vers Marovoay, d'autres espèces

apparaissent, et le nombre d'espèces de palétuviers diminue jusqu'à disparaître. Cela est dû à la diminution de la salinité du substrat et de l'eau (Andriamanantena, 2019). En plus du changement de substrats, la disparition des espèces de palétuviers est également due à l'utilisation des terres de mangroves, à la déforestation, au défrichement et au changement de substrat (encroûtement des sols ou leur ensablement).

Sur la rive droite, seules cinq espèces de palétuviers sur les huit identifiées se rencontrent ; elles se répartissent en cinq genres et quatre familles. En revanche, dans les pseudo-îlots choisis pour les relevés, six espèces réparties en six genres et quatre familles sont présentes. D'autres espèces viennent s'y associer. La huitième espèce inventoriée, *Lumnitzera racemosa,* se localise en arrière de la mangrove près de la terre ferme. Cette espèce se mélange aux espèces végétales rencontrées sur les sols non marécageux. Seule *Avicennia marina* est toujours présente en quantité très importante dans ces deux milieux (marécages et sols non marécageux), que ce soit sur les berges, à l'intérieur des mangroves, en arrière-mangrove ou encore dans les chenaux. Cependant, selon Andriamalala (2007), *Rhizophora mucronata* est souvent fréquente à Mariarano, et *Avicennia marina* à Boanamary. Cette présence est due à plusieurs facteurs, tels que la nature du substrat, la durée et la fréquence d'immersion, l'emplacement de l'espèce et le degré de la dégradation du milieu.

Dynamique des mangroves de Bombetoka

La télédétection est une technique précieuse pour obtenir des informations sur des sites inaccessibles – comme les mangroves – ainsi que des informations anciennes. Cette approche a été utilisée par de nombreux auteurs comme Giri et Muhlhausen (2008), Andriamalala (2007) et Pasqualini *et al.* (1999).

Entre 1995 et 2015, la largeur du canal principal, situé en amont de la zone d'étude, a augmenté du fait des mouvements du courant fluvial de la Betsiboka vers l'aval, à Boanamary, et du courant marin qui remonte vers l'amont, à Marovoay. L'apparition de sols nus dès 1995 sur ces pseudo-îlots dans la zone d'eau douce est due à l'épaississement des dépôts de vase sur ces pseudo-îlots d'une part, et, d'autre part, à l'exploitation (coupes et défrichements) et à la conversion des terres de mangroves en terres de culture. Cet épaississement de la partie amont rend difficile le nécessaire approvisionnement en eau de la zone pour le lessivage et la végétation. Seules les végétations sur les bords de ces pseudo-îlots peuvent alors survivre aux marées quotidiennes.

En aval, beaucoup de sédiments se déposent sur les berges ou les bords des pseudo-îlots (fig. 2). Ces sédiments proviennent de l'érosion de la partie amont du marais maritime de Bombetoka (pseudo-îlots ou bord de la rive gauche ou droite). Outre leur dépôt sur les berges, les sédiments engendrent aussi la formation de nouveaux pseudo-îlots sur lesquels les palétuviers se développent.

Une zone de transition se trouve au milieu du marais maritime. C'est dans cette zone que disparaissent les végétations hautes des zones inondables, ainsi que

les quelques végétations aquatiques basses, et que les palétuviers apparaissent. Une espèce de palétuvier, *Heritiera littoralis,* constitue un indicateur de la transition de la végétation. En effet, cette espèce peut vivre avec ou sans la montée occasionnelle de la mer. Par ailleurs, l'espèce *Avicennia marina* est dominante dans les mangroves de Bombetoka. À noter également, même si la superficie de sol dénudé augmente, celle du marais maritime de Bombetoka progresse également.

Conclusion et perspectives

Le marais maritime de Bombetoka est un système très complexe d'un point de vue écologique et hydrologique. Notre étude s'est focalisée sur l'évolution depuis 1995 du marais maritime de Bombetoka. Les mangroves de Bombetoka sont uniques à Madagascar par leurs superficies et la rapidité de leur évolution. Cette étude a mis en évidence la richesse floristique de cette méta-mangrove, sa dynamique sur vingt ans ainsi que les menaces qui pèsent sur elle. Ce travail a montré pour la première fois la dynamique spatio-temporelle du marais et la tendance de la végétation à tendre vers la monospécificité.

Le résultat de l'étude floristique a montré que le marais maritime abrite de nombreuses espèces végétales. Au total, 35 espèces ont été inventoriées de l'amont vers l'aval du fleuve au cours de cette recherche. Ces espèces sont regroupées en 23 familles. Huit de ces espèces sont des palétuviers. Tous les palétuviers de Madagascar sont observés dans cet écosystème. *Avicennia marina* est l'espèce la plus abondante ; elle a également un bon potentiel de régénération.

L'analyse des images satellitaires a montré la dynamique spatiale rapide de la zone d'étude, la néoformation de mangroves denses en aval du fleuve, ainsi que l'évolution du marais maritime de Bombetoka entre 1995 et 2015. L'érosion qui existe dans la partie amont du fleuve contribue beaucoup à cette néoformation en aval. En effet, les sédiments érodés s'installent en aval sur les berges des pseudo-îlots et/ou s'installent pour former un nouveau pseudo-îlot. Une carte du marais maritime de Bombetoka avec ces différentes classes d'occupation de sol a été produite.

Un approfondissement de cette étude serait toutefois nécessaire, afin de montrer aux différentes parties prenantes – populations locales utilisatrices des ressources de ce marais, ONG et associations, État *malagasy* – que ce marais est d'une très grande valeur d'un point de vue écologique, socio-économique et hydrologique. Il serait également important de continuer le suivi de ce marais maritime, notamment en lien avec le changement climatique, et de définir les mesures nécessaires à sa protection et gestion durable.

Remerciements

Nous tenons à remercier le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) d'avoir accepté notre participation à cet ouvrage scientifique, ainsi que tous les partenaires, notamment le Centre national de recherches sur l'environnement (CNRE, Madagascar) et l'UMR 228 Espace-DEV (Montpellier, France). Nos remerciements s'adressent également à toutes les équipes qui ont réalisé cette recherche.

Références bibliographiques

Andriamalala C. A. J., 2007
Étude écologique pour la gestion des mangroves. Comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection. Thèse de doctorat, Basel, 268 p.

Andriamanantena F. H., 2015
Écologie et régénération de la mangrove d'Antsanitia. Mémoire de master en Sciences de la vie et de l'environnement, université de Mahajanga, 76 p.

Andriamanantena F. H., 2019
Dynamique écologique des mangroves de l'estuaire du fleuve Betsiboka (nord-ouest de Madagascar) : approche biométrique et par télédétection. Thèse de doctorat en Écosystèmes naturels, université de Mahajanga, 256 p.

Braun-Blanquet J., 1965
The study of plant communities. Plant Sociology, New York, London, 439 p.

Cnes, 2003
Les satellites Spot 1, 2, 3. *Presse*. 4 p.

Duvigneaud P., 1946
La variabilité des associations végétales. *Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique,* 78 : 107-134.

Duvigneaud P., 1980
La synthèse écologique. Dion, Paris. 380 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1994
Mangrove forest management guidelines. *FAO Forestry Paper*, 117. Rome, 320 p.

FAO, 2018
Inventaire floristique et faunique des écosystèmesde mangroves et des zones humides côtières du Bénin. Cotonou, 88 p.

Giri C., Muhlhausen J., 2008
Mangrove forest distributions and dynamics in Madagascar (1975-2005). *Sensors,* 8 (4) : 2104-2117.

Jones T. G., Rakoto Ratsimba H., Ravaoarinorotsihoarana L., Cripps G., Bey A., 2014
Ecological variability and carbon stock estimates of mangrove ecosystems in northwestern Madagascar. *Forests,* 5 : 177-205. DOI:10.3390/f5010177

Jones T. G., Glass L., Gandhi S., Ravaoarinorotsihoarana L., Carro A., Benson L., Rakoto Ratsimba H., Giri C., Randriamanatena D., Cripps G, 2016
Madagascar's mangroves: quantifying Nation-wide and ecosystem specific dynamics, and detailed contemporary mapping of distinct ecosystems. *Remote Sens.,* 8 : 106. DOI:10.3390/rs8020106

Lebigre J. M., 2010
Distribution des marais à mangrove dans le monde : carte. Disponible sur http://mangrove.mangals.over-blog.com.

Northrop A., 2015
Ideas-Landsat products description document. Telespazio, United Kingdom. 68 p.

Pasqualini V., Iltis J., Dessay N., Lointier M., Guelorget O., Polidori L., 1999
Mangrove mapping in North-Western Madagascar using SPOTXS and SIRC data. *Hydrobiologica*, 413 (1) : 127-133.

Pham T. T. H., He D. C., 2012
Classification orientée objet d'une image *quickbird* de la ville de Hanoi (Viêtnam) : étude empirique des paramètres de segmentation. *Télédétection*, 11 (2) : 287-305.

Usaid (United States Agency for International Development), 2008
Mise à jour 2008 de l'évaluation des menaces et opportunités pour l'environnement à Madagascar. 245 p.

Van Steenis C. G. G. J., 1962
The distribution of mangrove plant genera and its significance for palaeogeography. Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch.

Chapitre 28

Dynamique écologique des mangroves urbaines et péri-urbaines de l'ouest de Madagascar

Cas d'Antsohihy et de Morondava

Sariaka Bianca Ranaivojaona
Université de Mahajanga, Madagascar

Tsaralaza Jorlin Tsiavahananahary
Université de Mahajanga, Madagascar

Botovao Auguste Ramiandrisoa
Université de Mahajanga, Madagascar

Hery Lisy Tiana Ranarijaona
Université de Mahajanga, Madagascar

Introduction

Les mangroves sont des écosystèmes marins et côtiers bien particuliers et caractéristiques des régions tropicales et subtropicales. Les mangroves offrent d'innombrables services écosystémiques notamment la protection du littoral, la pêche et l'alimentation en tant qu'habitat ainsi que de lieux de nurserie pour diverses espèces marines dont les crabes et les crevettes. La présence de mangroves en bonne santé offre ainsi de multiples avantages aux communautés côtières. La superficie totale de ces formations végétales était estimée à 152 361 km^2 en 2010 (Spalding *et al.,* 2010) et à 135 882 km^2 en 2016 (www.fao.org/forestry/mangrove/3643/en/). Madagascar, étant un pays insulaire, possède des côtes caractérisées par la présence de ces formations végétales, dont 98 % se situent sur la côte occidentale.

De nombreuses études abordent l'évolution spatio-temporelle des mangroves de Madagascar (Jones *et al*., 2016 ; Shapiro *et al*., 2019) y compris à l'ouest

(Andriamalala, 2007 ; Razakanirina, 2016). Les études portent généralement sur les mangroves des aires protégées de Madagascar, à l'instar de la réserve de biosphère de Sahamalaza dans la région Sofia, le complexe Mahavavy-Kinkony, la station forestière d'Antrema et la nouvelle aire protégée (NAP) Bombetoka-Belemboka dans la région Boeny, les mangroves de Manambolo et du delta de Tsiribihina dans la région Menabe. Ces mangroves sont éloignées des agglomérations. Cependant, elles subissent diverses pressions anthropiques. La déforestation des mangroves *malagasy* résulte principalement de l'exploitation forestière, de l'agriculture, du pâturage et de la production du charbon de bois (MEDD et MAEP, 2019). Mais qu'en est-il des mangroves situées à proximité des villes côtières et dont l'accès est beaucoup plus facile ?

L'étude présentée dans ce chapitre, a eu pour objectifs d'inventorier la flore des mangroves urbaines et péri-urbaines de l'ouest de Madagascar, notamment celles d'Antsohihy (région Sofia) et de Morondava (région Menabe), et de mieux connaître l'écologie et la dynamique de leurs peuplements ainsi que la cartographie de leur évolution spatio-temporelle de 1973 à 2020. Pour ce faire, une approche écosystémique appuyée par la télédétection a été adoptée.

Méthodologie

Sites d'étude

Selon les biorégions des mangroves de Madagascar (Allnutt *et al*., 2012), le premier site d'étude se situe au nord-ouest (mangroves péri-urbaines d'Antsohihy) ; les mangroves péri-urbaines de Morondava constituent le second site au centre-ouest. Le premier site se situe entre 14°49'/14°53' de latitude Sud et 47°55'/48°0' longitude Est et a une superficie de 1 190 ha. Le second site se trouve entre 20°15'/20°19' latitude Sud et 44°15'/44°18' longitude Est et s'étend sur 250 ha (fig. 1).

Relevés écologiques

La prospection des zones de mangroves a été menée au moyen d'une embarcation. Dans les sites d'étude, après l'inventaire des espèces floristiques, des transects ont été réalisés dans les mangroves, du rivage à la terre ferme. Ces lignes, perpendiculaires au rivage ou au chenal mesurent de 50 à 500 m de longueur, pouvant être continues ou discontinues. Au total, dix transects ont été réalisés dont cinq dans les mangroves d'Antsohihy et cinq à Morondava. Les transects ont été établis de part et d'autre de la ligne sur 30 m de large chacun. Ces lignes de transects ont permis de déterminer la distribution des espèces selon la zonation de la mangrove. Des relevés sur une surface de 900 m^2 y ont été effectués afin d'évaluer l'état de santé des peuplements de

Figure 1

Localisation géographique des sites d'étude.

Conception : S. B. Ranaivojaona, 2020. Projection : WGS 1984/UTM 38S. Source : SRTM, USGS.

palétuviers (par l'estimation de leur densité), avec notamment 27 relevés à Antsohihy et sept à Morondava. Dans chaque relevé, l'espèce, le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur ont été notés. Seuls les individus de plus de 2,5 cm de diamètre à hauteur de poitrine ont été pris en compte. Les superficies étudiées s'étendent au total sur 174 300 m^2, soit 17,43 ha, à Antsohihy et 36 300 m^2, soit 3,63 ha, à Morondava. L'échantillonnage représentatif a été élaboré selon l'état de végétation.

Analyse des données

Afin d'obtenir la distribution des individus selon leur diamètre, le package Weibullness de R a été utilisé. Pour ce faire, les histogrammes relatifs aux structures en diamètre des individus inventoriés ont été construits à partir de leurs densités de probabilité sur les données et les fréquences théoriques dans différentes classes. Les classes de diamètre ont été établies à un intervalle de 5 cm. À partir de ces données, la distribution permet de visualiser la structure du peuplement.

Pour le test Weibullness, la distribution de Weibull à trois paramètres (*a, b* et *c*) a été utilisée, avec *f* pour fonction de densité de probabilité pour toute valeur *x* de la variable aléatoire (Rondeux, 1999) :

$$f(x) = \frac{c}{b}\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c}\right]$$

où x est le diamètre des arbres, a le paramètre de position, b le paramètre d'échelle ou de taille, et c le paramètre de forme lié à la structure du diamètre. Ces paramètres de distribution permettent d'analyser les conditions de vie du peuplement (Glèglè Kakaï *et al*., 2016), notamment l'état de dégradation de la mangrove.

L'indice de valeur d'importance (IV) décrivant le rôle structural de chaque espèce dans l'habitat est calculé selon Husch *et al*. (2003) :

$$IVj = \text{densité relative} + \text{dominance relative} + \text{fréquence relative}$$

$$\text{densité relative} = 100\frac{dj}{D}\text{ ; dominance relative} = 100\frac{xj}{X}\text{ ; fréquence relative} = 100\frac{nj}{N}$$

où IVj est la valeur d'importance de la j^e espèce, dj la densité de l'espèce (ou nombre d'individus de la j^e espèce présente dans l'échantillon de population), D la densité totale des espèces (ou nombre total des individus dans l'échantillon de population), xj la somme des sections de base de la j^e espèce (dominance), X le total de la somme des sections de toutes les espèces, nj le nombre d'échantillons dans lequel la j^e espèce est présente et N le nombre total d'échantillons.

Étude cartographique

Les images Landsat utilisées ont été obtenues à partir du site de l'United States Geological Survey (USGS), sous les références 159/070 et 161/074. Ces images satellitaires ont été réparties en quatre périodes : de 1970 à 1990, de 1990 à 2000, de 2000 à 2010 et de 2010 à 2020.

L'étude cartographique a été combinée aux études de terrain et aux enquêtes sur les anciennes zones de mangroves. Quant aux images traitées, elles ont toutes le même système de projection, dont le « Universal Transverse Mercator » (UTM) utilisant le « World Geodetic System » de 1984 (WGS84), dénommé « UTM WGS84 zone 38 Sud ». Les zones d'études ont été ensuite extraites pour être analysées. Pour ce faire, une composition colorée, notamment avec la fausse couleur, est effectuée afin de déterminer les différentes composantes et délimiter la végétation. La classification des images a été réalisée via une classification non supervisée, suivie d'une classification supervisée pour laquelle des zones d'entraînement ont été réalisées et appuyées par les vérités terrain. La classification supervisée combine le « maximum de vraisemblance » avec la connaissance de la zone. La matrice de confusion a été calculée pour valider la classification. Cette matrice compare les vérités de terrain et les résultats de la classification ainsi que l'évaluation de précision. La validation des classes retenues a permis de distinguer les zones de mangroves de celles qui en sont dépourvues.

Résultats

Diversité floristique

Au total, dix espèces réparties dans huit familles sont présentes dans la mangrove d'Antsohihy, tandis qu'à Morondava sept espèces regroupées en cinq familles ont été recensées (tabl. 1).

Tableau 1
Liste floristique des mangroves d'Antsohihy et de Morondava.

Famille	Nom scientifique	Antsohihy	Morondava
Acanthaceae	*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.	+	+
Rhizophoraceae	*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Lam.	+	+
	Ceriops tagal (Perr.) C. B. Rob.	+	+
	Rhizophora mucronata Lam.	+	+
Lythraceae	*Sonneratia alba* Smith	+	+
Meliaceae	*Xylocarpus granatum* K. D. Koenig	+	-
Malvaceae	*Heritiera littoralis* Dryand.	+	-
Pteridaceae	*Acrostichum aureum* L.	+	-
Fabaceae	*Derris trifoliata* Lour.	+	+
Aizoaceae	*Sesuvium portulacastrum* (L.) L.	+	+

+ : présence
- : absence

Répartition spatiale et caractéristiques structurales des espèces

Le profil schématique de chaque relevé a permis d'établir un modèle du gradient de distribution des espèces végétales, notamment les palétuviers. La mangrove d'Antsohihy est surtout adaptée aux Rhizophoraceae (avec les espèces *Rhizophora mucronata, Ceriops tagal* et *Bruguiera gymnorrhiza,* fig. 2A), tandis que *Avicennia marina* (Acanthaceae) est plus adaptée à celle de Morondava (fig. 2B).

Quant à la distribution du diamètre, le paramètre de forme de la distribution dans la mangrove d'Antsohihy a une valeur comprise entre 1 et 3,6 (c : 1,22), ce qui implique une distribution asymétrique positive avec la prédominance relative des régénérés à faible diamètre (fig. 2C). La mangrove de Morondava présente également une distribution asymétrique positive avec un paramètre de forme de 1,02 (fig. 2D). Ces mangroves urbaines et péri-urbaines se caractérisent ainsi par l'abondance des individus ayant un diamètre inférieur à 5 cm tandis que ceux de plus de 20 cm de diamètre sont rares. Ces distributions traduisent la perturbation du milieu.

Concernant la valeur d'importance de chaque espèce, *Avicennia marina* a la valeur la plus élevée avec 178 % et 274 % respectivement à Antsohihy et Morondava. Les espèces de Rhizophoraceae se classent après *Avicennia marina* dans les deux sites d'étude. Par ailleurs, *Rhizophora mucronata* se retrouve respectivement en seconde et troisième place à Antsohihy et Morondava. *Ceriops tagal* occupe la seconde place à Morondava. *Heritiera littoralis (*Malvaceae) présente la plus faible valeur à Antsohihy avec 9 %. À Morondava, *Sonneratia alba* (Lythraceae) détient la plus faible valeur, de l'ordre de 71 % (fig. 2E et 2F).

Figure 2

A. Modélisation du gradient de distribution dans la mangrove d'Antsohihy.
B. Modélisation du gradient de distribution dans la mangrove de Morondava.
C. Distribution des diamètres à Antsohihy.
D. Distribution des diamètres à Morondava.
E. Valeur d'importance des espèces à Antsohihy.
F. Valeur d'importance des espèces à Morondava.

© S. B. Ranaivojaona, 2020.

Évolution spatio-temporelle des mangroves

La couverture de la mangrove d'Antsohihy régresse depuis 1973. Cette mangrove a connu une perte considérable de sa superficie sur les périodes 1973-1991 et 2010-2020, avec respectivement le défrichement de 460 et 482 ha (fig. 3A). Quant à Morondava, la superficie occupée par les mangroves urbaines et péri-urbaines diminue considérablement de 1973 à 1990 avec une perte de 167 ha. Cette superficie diminue ensuite progressivement, de 1990 à 2000, avec la perte de 41 ha de mangrove. Toutefois, une dynamique positive a été enregistrée entre 2000 et 2010. Puis, de 2010 à 2020, la déforestation de ces écosystèmes a engendré une perte de 86 ha (fig. 3B).

Figure 3

A. Évolution spatio-temporelle de la mangrove d'Antsohihy (1973-2020).
B. Évolution spatio-temporelle de la mangrove de Morondava (1973-2020).
© S. B. Ranaivojaona, 2020.

Discussion

Dans les mangroves d'Antsohihy, sept espèces de palétuviers sont présentes tandis que cinq seulement sont recensées à Morondava (tabl. 1). La régression de la superficie des mangroves de Morondava est principalement due à l'urbanisation. L'avancée des zones d'habitation dans les mangroves a engendré la rareté, voire l'absence, des espèces caractéristiques de la zone interne. L'absence de *Heritiera littoralis* est remarquée à Morondava alors que cette espèce présente une faible proportion à Antsohihy, de l'ordre de 9 %, à cause de l'urbanisation de la zone interne de la mangrove dans les deux sites. *Lumnitzera racemosa* qui est également caractéristique à la zone interne est également absent dans les deux sites d'étude. La dispersion de *Xylocarpus granatum* nécessite que son gros fruit, à coque dure percute un corps solide afin de se casser et libérer ses graines, ce qui rend difficile sa régénération naturelle et explique sa rareté à Antsohihy et son absence à Morondava. Néanmoins, les mangroves d'Antsohihy et de Morondava sont surtout dominées par *Avicennia marina* car cette espèce est plus résiliente du fait de sa capacité de régénération et d'adaptation. Les arbres de gros diamètres des deux sites appartiennent pour la grande majorité à cette espèce qui est moins exploitée par rapport aux espèces de Rhizophoraceae. En effet, *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal* sont les espèces les plus exploitées pour le bois de construction, ce qui explique la prédominance d'*Avicennia marina* (fig. 2A).

Les transects réalisés ont permis d'étudier les caractéristiques des peuplements et d'établir la distribution des espèces selon la zonation de la mangrove. La répartition des espèces est fonction des conditions du milieu, des besoins et des caractéristiques de chaque espèce, notamment leur tolérance à la salinité. Les espèces qui se trouvent sur le front du chenal, à l'instar de *Rhizophora mucronata et Sonneratia alba*, supportent une forte salinité et une immersion prolongée. Selon Tostain (2010), *Rhizophora mucronata* se caractérise par une halotolérance pouvant atteindre un taux de salinité de 42,410 g/l tandis que *Sonneratia alba* tolère jusqu'à 35,190 g/l. Par ailleurs, *Avicennia marina* est une espèce pionnière et omniprésente dans la mangrove.

La stratification de la mangrove est simplifiée (Alongi, 2009), constituée par une strate arbustive et une strate de régénération. La strate arbustive est occupée par les houppes et la strate dite de régénération est composée de plantules et de jeunes plants. L'absence de sous-bois s'explique par la salinité, l'inondation et la faible luminosité, tandis que la présence de sous-bois indique l'ouverture de la canopée associée à un apport conséquent et régulier en eau douce (Taureau, 2017). À Antsohihy, la mangrove est surtout occupée par les jeunes plants d'espèces de Rhizophoraceae (*Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal)* et d'*Avicennia marina.* Ces espèces présentent un fort potentiel de régénération naturelle en présence de semenciers et lorsque les jeunes pousses ont accès à la lumière. La prédominance des individus à faible diamètre (fig. 2C) s'explique par la coupe des gros arbres mais aussi par la dégradation du substrat engendrant le rabougrissement des palétuviers en général.

Dans la mangrove de Morondava, la régénération naturelle se fait rare en front de mer et au bord des chenaux car cette zone est toujours immergée. L'installation des plantules nécessite le balancement de la marée et non une immersion permanente. En outre, les individus adultes forment une sorte de rideau le long des chenaux, ce qui limite l'accès à la lumière aux jeunes pousses. Quant à la distribution des individus selon le diamètre, ceux de faibles diamètres sont plus abondants (fig. 2D) du fait de la coupe sélective que subissent ceux de plus de 5 cm de diamètre. Par ailleurs, les individus sont rabougris, principalement du fait de la dégradation du substrat (Ranaivojaona *et al.,* 2020).

Quant à l'état de santé des mangroves, la dégradation accentuée de la mangrove d'Antsohihy est due à l'exploitation des bois de mangrove notamment pour les constructions permanentes, les constructions légères et les bois-énergie avec le charbon de bois (Ranaivojaona *et al*., 2019). Selon des travaux antérieurs, les principales pressions et menaces sur la mangrove de Morondava sont le remblayage pour des constructions, l'extraction du sol et les coupes illicites de bois de mangrove (Ranaivojaona *et al*., 2020). Pourtant, les mangroves sont primordiales pour la lutte contre les changements climatiques du fait de leur capacité de séquestration de carbone élevée, contribuant ainsi à l'atténuation des effets du changement climatique (MEDD et MAEP 2019). Les mangroves urbaines et péri-urbaines de l'ouest *malagasy* présentant un état de dégradation très avancé, les services écosystémiques rendus sont de fait réduits dont leur capacité de séquestration de carbone. En revanche, ces mangroves sont sources de revenus grâce à l'écotourisme (balades sur des embarcations par exemple).

Les mangroves se situant dans les zones côtières, elles sont les plus vulnérables au changement climatique. En effet, selon les projections réalisées sur ces écosystèmes marins et côtiers, 10 à 15 % de leurs superficies seraient détruites d'ici 2100. Cette destruction est essentiellement attribuée à l'élévation du niveau de la mer (Alongi, 2008 ; Gilman *et al.,* 2008). Par ailleurs, la superficie mondiale des mangroves a diminué de plus de 50 % au cours du dernier demi-siècle (Shi *et al*., 2016). Selon Shapiro *et al*. (2019), les mangroves *malagasy* ont connu une perte nette de superficie entre 1995 et 2018. Jusqu'en 2000, les surfaces perdues suivent principalement la marge extérieure à la limite des terres. Ces zones correspondent, en effet, au changement d'occupation du sol notamment l'urbanisation dans les cas des mangroves urbaines et péri-urbaines. À Morondava, des quartiers sont créés sur d'anciennes zones de mangrove. Toutefois, à Antsohihy, les mangroves proches des agglomérations sont moins sujettes à l'urbanisation dans leur ensemble. La diminution considérable de la superficie des mangroves à Antsohihy durant les périodes 1973-1991 et 2010-2020 (fig. 3A) est particulièrement due à l'exploitation à outrance de leur bois.

Les inondations rendent vulnérables les populations locales, notamment celles qui habitent les anciennes zones de mangrove ou encore les zones de basse altitude près des côtes. Le passage d'une perturbation cyclonique, dont la dépression tropicale Eketsang en janvier 2019, dans la ville de Morondava, a provoqué l'inondation de plusieurs quartiers et impacté 1 347 sinistrés (Firinga,

2020). Par ailleurs, la ville de Morondava et les zones littorales du Moyen-Ouest sont confrontées à une érosion côtière depuis plusieurs décennies. D'ici 2100, la zone littorale de Morondava devrait connaître un recul des côtes de 5 à 6 m/an (MEDD, 2017). Le niveau maximal d'inondation devrait engloutir une superficie de 1 550 ha, 1 930 ha en et 2 330 ha respectivement en 2025, 2050 et 2100 (MEEF, 2006). Les mangroves de Morondava subissent déjà des inondations consécutives des saisons pluvieuses. Ces inondations ont des effets néfastes sur les mangroves en diminuant leur productivité, leur photosynthèse et leur survie (MEDD et MAEP, 2019). Une augmentation du taux de mortalité de *Bruguiera gymnorrhiza* a été observée dans les mangroves de Morondava en 2020 (Ranaivojaona *et al*., 2020). En outre, l'érosion côtière affecte une partie de ces mangroves qui se trouvent à l'embouchure et exposées aux houles.

Face à la dégradation continuelle du milieu, une partie de la mangrove d'Antsohihy est reboisée avec *Rhizophora mucronata* et *Ceriops tagal.* Dans la mangrove de Morondava, la restauration des peuplements est réalisée par la population locale avec les espèces originelles, notamment *Avicennia marina* et *Rhizophora mucronata.* À Antsohihy, ces initiatives entrent dans le schéma de gestion locale des ressources naturelles sous l'égide du ministère de l'Environnement et du Développement durable. À Morondava, la restauration des mangroves relève des initiatives de la population locale, des organisations environnementales en collaboration avec le ministère de tutelle. Par ailleurs, ces efforts sont appuyés par la politique de l'État, depuis 2019, afin de reverdir Madagascar.

Conclusion

La présente étude a permis de présenter la situation écologique des mangroves urbaines et péri-urbaines de l'ouest de Madagascar, dont Antsohihy et Morondava. Ces mangroves sont prédominées par *Avicennia marina*, une espèce résiliente et ubiquiste, tandis que la modélisation du gradient de distribution des espèces a montré que *Rhizophora mucronata* caractérise la mangrove d'Antsohihy. Par ailleurs, ces mangroves fortement perturbées, du fait de l'urbanisation et de l'exploitation massive des palétuviers, sont constituées principalement par des individus de moins de 5 cm de diamètre. L'évolution spatio-temporelle de ces écosystèmes a confirmé leur dégradation progressive entre 1973 et 2020, avec la perte, depuis 1973, de 48,16 % de la superficie de la mangrove d'Antsohihy et de 62,97 % de celle de Morondava. Face à ce constat, la restauration des mangroves de ces deux sites s'impose et doit d'être soutenue. La réussite d'une restauration écologique repose essentiellement sur la prise en compte de l'affinité des espèces aux substrats mais également de la résilience des espèces choisies face aux aléas climatiques. La restauration de ces écosystèmes soutiendrait non seulement la fonction de séquestration de carbone des mangroves mais aussi les activités qu'elles procurent, génératrices de revenus pour les populations locales, notamment l'écotourisme.

Remerciements

Nous tenons à remercier les Directions régionales de l'environnement et du développement durable (DREDD) de Sofia et de Menabe, ainsi que les communes urbaines d'Antsohihy et de Morondava pour leur collaboration dans la réalisation de ce projet. Nous remercions particulièrement madame Holiarisoa Razafinandriana, monsieur Razafindrabe Léon Paul, messieurs Lubain, Mario et Sily, nos guides et piroguiers tout au long de nos travaux de terrain.

Références bibliographiques

Allnutt T. F., Asner G. P., Powell G. V. N., 2012
Mapping recent deforestation and forest disturbance in Northeastern Madagascar. *Tropical Conservation Science,* 6 (1) : 1-15. http://www.tropicalconservationscience.org

Alongi D. M., 2008
Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science,* 76 : 1-13. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024

Alongi D. M., 2009
The energetics of mangrove forests. Springer, Dordrecht, 216 p.

Andriamalala C. A. J., 2007
Étude écologique pour la gestion des mangroves. Comparaison d'une mangrove littorale et d'estuaire à l'aide de la télédétection. Thèse de doctorat, université de Basel, 268 p.

Firinga, 2020
Cyclones tropicaux du sud-ouest de l'océan Indien. www.firinga.com

Gilman E. L., Ellison J., Duke N. C., Field C., 2008
Threats to mangroves from climate change and adaptation options: a review. *Aquatic Botany,* 89 : 237-250.

Glèglè Kakaï R., Bonou W., Lykke A. M., 2016
Approche méthodologique de construction et d'interprétation des structures en diamètre des arbres. *Annales des Sciences agronomiques,* 20, spécial Projet Undesert/UE : 99-112. https://www.researchgate.net/publication/301214137

Husch B., Beers T. W., Kershaw J. A., 2003
Forest mensuration. 4th edition. Wiley, Hoboken, 443 p.

Jones T. G., Glass S., Gandhi L., Ravaoarinorotsihoarana A., Carro L., Benson H., Rakoto Ratsimba H., Giri C., Randriamanantena D., Cripps G., 2016
Madagascar's mangroves: quantifying nation-wide and ecosystem specific dynamics, and detailed contemporary mapping of district ecosystems. *Remote sensing*, 8 (2) : 106. DOI : 10.3390/rs8020106

MEEF, 2006
Plan national d'adaptation au changement climatique. République de Madagascar. Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts, Madagascar, Banque mondiale et Fonds pour l'environnement mondial, Washington, 75 p.

MEDD, 2017
Résumé du tableau de bord environnemental de la région Menabe, Madagascar. Ministère de l'Environnement et du Développement durable, direction régionale de l'Environnement et du Développement durable, Menabe, 72 p.

MEDD et MAEP, 2019
État des lieux des mangroves de Madagascar. Ministère de l'Environnement et du Développement durable et ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Antananarivo, 208 p.

Ranaivojaona S. B., Tsiavahananahary T. J., Ranarijaona H. L. T., 2019
Évolution spatio-temporelle et vulnérabilité des mangroves urbaines d'Antsohihy (nord-ouest de Madagascar). *Revue Recherche pour le développement*. 26 : 59-69.

Ranaivojaona S. B., Tsiavahananahary T. J., Ranarijaona H. L. T., 2020
« Vulnérabilité des mangroves face au changement climatique dans deux villes côtières de l'Ouest de Madagascar ». *In* Bonnardot V., Quénol H. (éd.) : *Changement climatique et Territoires. Actes du colloque de l'AIC*, 33, Rennes : 565-570.

Razakanirina H., 2016
Les mangroves de Madagascar : utilisation des ressources en bois, caractéristiques anatomiques du bois et vulnérabilité par rapport au changement climatique (cas des mangroves du delta de Tsiribihina et de la réserve de biosphère de Sahamalaza). Thèse de doctorat en Sciences de la vie et de l'environnement, université d'Antananarivo, 240 p.

Rondeux J., 1999
La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Presses agronomiques de Gembloux, 522 p.

Shapiro A., Randriamanantena D., Kuechle F., Razafindramasy F., 2019
Les mangroves de Madagascar : superficies, condition et évolution 2000-2018. WWF Germany, Berlin, WWF Madagascar, Antananarivo, 39 p.

Shi T., Liu J., Hu Z., Liu H., Wang J., Wu G., 2016
New spectral metrics for mangrove forest identification. *Remote Sensing Letters,* 7 (9) : 885-894. DOI : https://doi.org/10.1080/2150704X.2016.1195935

Spalding M., Kainuma M., Collins L., 2010
World atlas of mangroves. Earthscan Publications, London, 319 p.

Taureau F., 2017
Cartographie harmonisée des mangroves de l'outre-mer français. Thèse de doctorat, université de Nantes, 248 p.

Tostain S., 2010
Espèces de palétuviers dans les mangroves de Toliara. Rapport, Formad Environnement, Jacou, 32 p.

Chapitre 29

Lianes indigènes du parc national de Kahuzi-Biega, République démocratique du Congo

Germination des graines et croissance des plantules

Céphas Masumbuko Ndabaga
Université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo

Jean Lejoly
Initiatives pour l'agroforesterie en Afrique, République démocratique du Congo

Elisabeth Biringanine Mugoli
Centre de recherche en sciences naturelles de Lwiro, République démocratique du Congo

François Habiyaremye Muhashy
Institut royal des sciences naturelles de Belgique

Introduction

Dans la zone de montagne du parc national de Kahuzi-Biega (PNKB), deux types de forêts dominent : les forêts de bambous et les forêts ombrophiles, ces deux types ayant une diversité importante de lianes dont certaines atteignent la canopée. Parmi ces lianes héliophiles, on rencontre fréquemment *Sericostachys scandens* Gilg & Lopr. (Amaranthaceae), *Adenia bequaertii* Robyns & Lawalrée (Passifloraceae), *Gouania longispicata* Engl. (Rhamnaceae) et *Tacazzea apiculata* Oliv. (Apocynaceae).

Depuis près d'une décennie, *S. scandens* se répand excessivement dans ces écosystèmes et envahit particulièrement les milieux perturbés par des actions anthropiques favorisées par les guerres à répétition à l'est de la République démocratique du Congo (RD Congo) (Iyomi, 2005).

Les mécanismes qui sous-tendent ce comportement envahissant ne sont pas totalement connus. Les traits fonctionnels favorisant l'expansion de *S. scandens* ont été élucidés (Masumbuko *et al*., 2012). Cette liane se distingue de trois autres lianes héliophiles par une biomasse de graines beaucoup plus importante, caractéristique d'une espèce à stratégie r (stratégie reproductive). Il est donc important de vérifier le pouvoir germinatif de ces graines dans des situations écologiques variées. Ce travail s'intéresse ainsi à la phase de germination des graines dans une approche expérimentale.

Dans la nature, certaines graines sont adaptées à germer sous la lumière, d'autres préfèrent germer sans lumière (Sharma et Sen, 1975). Une fois qu'une graine germe, son avenir dépend de sa capacité à croître, la croissance des plantes étant alimentée par la photosynthèse (Field et Vazquez-Yanes, 1993). Beaucoup d'espèces de lianes poussent mieux dans des trouées et au bord de la forêt (Putz, 1984). Ce modèle indique la nécessité d'un fort éclairement pour leur établissement et leur développement (Lüttge, 1997). Dans la forêt semi-décidue du sud-est du Brésil, Sanches et Válio (2008) ont testé la réponse photosynthétique de deux espèces de lianes tropicales qui cohabitent, *Canavalia parviflora* Benth. et *Gouania virgata* Reissk, suivant différentes gammes d'éclairement (100, 40, 10 et 1,5 %). Les résultats ont montré que l'activité photosynthétique de *C. parviflora* réduit avec la diminution du rayonnement solaire, tandis qu'elle se maintient au même niveau chez *G. virgata*, même avec 10 % d'éclairement. La lumière s'est avérée le facteur le plus important pour la croissance de ces plantes.

Nous examinons dans ce chapitre, d'une part, les taux de germination des quatre lianes héliophiles dans des milieux à canopées ouverte et fermée des deux types de forêt du PNKB (forêt de bambous et forêt ombrophile). D'autre part, nous comparons les moyennes des incréments de taille des plantules. Les hypothèses testées sont (1) que *S. scandens* se distingue des autres lianes par des taux de germination et/ou des vitesses de croissance de plantules particulièrement élevés et (2) que les taux de germination et les vitesses de croissance des plantules de lianes varient selon la structure de la forêt.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

La zone de haute altitude, ou zone de montagne du PNKB (fig. 1), se situe entre 1 800 et 3 308 m d'altitude (Mühlenberg *et al*., 1994). Dans cette zone règne un climat tropical humide avec des moyennes pluviométriques autour de 1 700 mm de janvier à mai et de septembre à décembre (Yamagiwa *et al*., 2005).

En suivant le gradient altitudinal, Mühlenberg *et al*. (1994) distinguent quatre étages de végétation sur le massif du Kahuzi : les forêts ombrophiles de montagne (1 700-2 400 m), les forêts de bambous et, par endroits des forêts de *Podocarpus* (2 400-2 600 m), l'étage des bruyères (2 600-3 200 m) et l'étage

alpin (3 200-3 300 m). Ces successions sont typiques du mont Kahuzi uniquement, car on trouve ailleurs des forêts de bambous aux mêmes altitudes que les forêts ombrophiles.

Figure 1
Le parc national de Kahuzi-Biega.

Choix des espèces et dispositif expérimental

Nous avons choisi de comparer les taux de germination de *S. scandens* à ceux des trois autres lianes (*T. apiculata*, *A. bequaertii*, *G. longispicata*) également indigènes, héliophiles et bien représentées dans ces forêts. Depuis la création du parc jusqu'en 1996, début des guerres à répétition en RD Congo, aucune de ces lianes n'a été signalée comme envahissante dans le parc.

Les essais de germination ont été faits dans les forêts de bambous ainsi que dans les forêts ombrophiles suivant le même modèle. Pour chaque espèce, 24 graines ont été semées dans un carré de 0,5 m × 0,5 m au sein d'un carré de 1 m de côté. Les cultures ont été pratiquées dans trois carrés par type de canopée (ouverte ou fermée), à raison de trois sites par type de forêt, distants d'environ 3 km l'un de l'autre, soit neuf réplicats par espèce et par type de canopée, dix-huit réplicats par espèce et par type de forêt, et 36 réplicats par espèce. L'expérience de Lieberman et Li (1992) a montré qu'il était nécessaire de limiter l'expérience à la saison pluvieuse, les causes de mortalité en saison sèche étant plus complexes. Dans la forêt ombrophile, les sites ont été localisés à Tshivanga,

Cizungu et Mwandagalo, et dans la forêt de bambous, deux sites ont été situés à Munga II et le troisième à Munga I.

Relevé et analyse des données

Nous avons compté le nombre de graines ayant germé après 45 jours. Les graines de *G. longispicata* ont manifesté une période de dormance (~ 30 jours). Le suivi diachronique de la vitesse de croissance a porté sur dix plantules pour chacune des quatre espèces sous une canopée ouverte en forêt ombrophile. Nous avons relevé à six reprises les hauteurs des individus ciblés afin de décrire la croissance des quatre lianes durant 60 jours.

Nous avons ainsi comparé les taux de germination des lianes dans des parcelles à canopée fermée à ceux obtenus sous canopée ouverte dans les deux types de forêt en vue d'apprécier l'habitat et les conditions de milieux favorables à l'expansion de *S. scandens*. Les taux de germination (TG) ont été évalués en pourcentage.

$$TG = (n / N) \times 100$$

avec n le nombre de graines ayant germé et N le total de graines semées.

La comparaison multiple des moyennes des taux de germination entre les espèces a été faite par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis car les variances n'étaient pas homogènes. La comparaison deux-à-deux des taux de germination des espèces entre types de forêt et types de canopée a été faite en utilisant le test de Student.

Par une méthode quantitative de suivi du rythme de croissance, le développement des plantes a été analysé sur la base des incréments (Vuokko *et al.*, 1977 ; Odin, 1972 ; Hahn *et al.*, 1990). Les incréments ($I = \Delta h$, h étant la hauteur) ont été comparés en utilisant le test post-hoc de Fisher LSD ($\alpha = 0{,}05$).

Résultats

Taux de germination des lianes

Les taux de germination des quatre lianes dans les environnements choisis montrent deux groupes homogènes (fig. 2). Le premier groupe (a) est constitué de *S. scandens, A. bequaertii* et *T. apiculata* avec des taux moyens de germination (35 à 57 %) significativement différents de celui de *G. longispicata* (3 %) ($p < 0{,}001$) qui constitue, à elle seule, le second groupe (b).

Les taux de germination sont généralement plus élevés en forêt ombrophile qu'en forêt de bambous, et également plus élevés sous une canopée ouverte que fermée (fig. 3).

Figure 2

Taux de germination des graines des quatre lianes dans les forêts ombrophiles et de bambous au parc national de Kahuzi-Biega.

Les valeurs sont les moyennes générales des données combinées des deux types de forêt et des deux types de canopée.
Les taux de germination sont comparés en utilisant le test de Kruskal-Wallis.
Les lettres indiquent les groupes homogènes. N = 864.

Figure 3

Taux de germination des graines de quatre lianes en forêt ombrophile et en forêt de bambous, sous canopée ouverte et fermée.

Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les taux de germination des espèces entre elles.
Le test de Student a permis de comparer la germination de chaque espèce entre les types de forêt et de canopée.
Les lettres indiquent les groupes homogènes.

Gouania longispicata montre un taux de germination très faible dans toutes les situations. *Tacazzea apiculata* montre généralement les taux les plus élevés.

Dans la forêt ombrophile, comme dans la forêt de bambous, les trois espèces du 1er groupe se distinguent par des pourcentages de germination plus élevés sous canopée ouverte que sous canopée fermée dans la forêt ombrophile ($p = 0{,}01$ pour *S. scandens* ; $p = 0{,}0015$ pour *T. apiculata* ; $p = 0{,}00013$ pour *A. bequaertii* ; degré de liberté ddl = 16, et $p = 0{,}026$; $p < 0{,}0001$; $p = 0{,}00026$; ddl = 16, respectivement dans la forêt de bambous).

En comparant les résultats sous canopée fermée dans les deux types de forêts, les lianes germent généralement mieux dans la forêt ombrophile que dans la forêt de bambous (fig. 3).

Concernant *S. scandens*, son taux de germination varie de 17,1 % (forêt de bambous, canopée fermée) à 56,5 % (forêt ombrophile, canopée ouverte). Cette liane présente le taux de germination le plus élevé uniquement dans la forêt de bambous à canopée fermée, mais sans différence significative avec *T. apiculata* et *A. bequaertii*.

Comparaison des incréments au cours du développement des plantules

Les incréments observés pendant la durée de l'expérience (60 jours) sont faibles pour toutes les espèces. Pendant leur développement, les plantules des lianes germées sous canopée ouverte en forêt ombrophile forment deux groupes homogènes. Le premier groupe est constitué de *S. scandens* et *A. bequaertii*, et le deuxième de *T. apiculata* et *G. longispicata*. La comparaison des valeurs des incréments selon les espèces, avec le test post-hoc de Fisher LSD ($\alpha = 0{,}05$), montre qu'il existe une différence très significative ($p = 0{,}0026$) (tabl. 1).

Tableau 1
Croissance des plantules en forêt ombrophile, canopée ouverte.
Résumé de l'analyse de la variance (Anova) à un facteur sur les incréments.

	SC	Dl	MC	F	p
Valeur moyenne	3,813	1	3,8135	296,72	0,0000
Espèce	0,189	3	0,0630	4,91	0,0026
Erreur	2,519	196	0,0129		

SC : somme des carrés, Dl : degré de liberté, MC : carré moyen, F : Fisher, p : probabilité.

Discussion

La germination et la croissance des plantules sont des étapes souvent déterminantes dans un processus d'invasion biologique (Sakai *et al.*, 2001).

Dans la forêt humide d'Hawaï, Pattison *et al*. (1998) ont fait germer cinq espèces envahissantes et quatre non envahissantes en vue de comparer leurs taux de croissance selon trois régimes d'intensité d'éclairement différents. Les taux de croissance des espèces envahissantes cultivées en plein soleil se sont avérés significativement plus élevés que ceux des espèces non envahissantes. Ces auteurs ont également expliqué que dans certains endroits, comme ceux ayant des trouées dans leur canopée suite à des perturbations, les espèces envahissantes semblent être plus efficaces que les espèces non envahissantes pour capter et utiliser la lumière.

Nous avons testé si *Sericostachys scandens*, dont l'expansion inquiète les gestionnaires du parc national de Kahuzi-Biega, se comportait différemment des trois autres lianes. Nous avons également pris en considération les variations de structure des forêts dans la zone d'étude (forêt de bambous et forêt ombrophile ; canopée ouverte ou fermée), *S. scandens* semblant dominer principalement sous canopée ouverte en forêt ombrophile. Cette liane manifeste un comportement similaire à celle de *Rubus alceifolius* Poir., espèce envahissante de la forêt tropicale de l'île de la Réunion (Baret *et al*., 2008) et de la forêt semi-décidue au sud-est du Brésil (Sanches et Válio, 2008).

L'expérimentation par semis *in situ* a le mérite de respecter les conditions écologiques qui prévalent au moment de la germination, y compris la prédation et les agents pathogènes. En revanche, nos expériences étant d'assez courte durée (45 jours de suivi de la germination et 60 jours de suivi de la croissance), elles ne permettent pas d'apprécier la survie à long terme des plantules également influencée par les ennemis naturels (Marcia et Scariot, 2006).

En tenant compte des pourcentages plus élevés de germination sous une canopée ouverte (où la forêt a connu des perturbations), *S. scandens,* ainsi que les deux autres lianes observées (*T. apiculata* et *A. bequaertii*), ont le comportement d'espèces héliophiles. Cette étude corrobore le phénomène observé à l'est du Brésil où l'évaluation des impacts d'exploitation de la forêt a relevé que les lianes devenaient ensuite abondantes (Gerwing, 2006). Dans ces forêts brésiliennes, la liane *Croton ascendens* Secco & N. A. Rosa est plus abondante dans les forêts où est pratiquée une exploitation sélective des arbres. Ce phénomène a été également observé en RD Congo avec *S. Scandens* (Masumbuko *et al*., 2012). Plusieurs autres études ont prouvé l'effet positif de la lumière sur la croissance des lianes dans les forêts tropicales (Gerwing, 2006 ; Toledo-Aceves et Swaine, 2008a, b).

La vitesse de croissance des plantules de *S. scandens*, liane indigène du PNKB, n'est pas plus élevée que celles des trois autres lianes indigènes testées alors que les résultats de nombreuses études ont démontré que les espèces envahissantes se caractérisent par une croissance plus rapide (Harrington *et al*., 1989 ; Pattison *et al*., 1998 ; Byers, 2000).

Conclusion

Sericostachys scandens ne montre pas un comportement très différent de celui des trois lianes non envahissantes pendant les 60 premiers jours de sa croissance. Toutefois, les graines de *S. scandens* sont plus abondantes dans les forêts du parc que celle des trois autres lianes. Comme le taux de germination de *S. scandens* est du même ordre de grandeur que celui des autres lianes héliophiles, nos résultats suggèrent que le taux d'établissement de cette espèce doit être plus élevé.

Dans l'ensemble, les quatre lianes étudiées montrent un taux de germination plus élevé sous canopée ouverte que sous canopée fermée, ce qui est conforme avec leur caractère héliophile. Ainsi, nous pouvons affirmer que la structure de la forêt (canopée ouverte) a un effet positif sur la germination des lianes.

Les résultats obtenus dans ce travail n'ont relevé aucun facteur édaphique ni biotique pouvant limiter la prolifération de la liane *S. scandens*. Il est donc indispensable de poursuivre les études qui permettront d'identifier les facteurs limitant sa propagation, les impacts de cette prolifération sur la dynamique forestière étant d'ores et déjà prouvés.

Remerciements

Les analyses des données de ce travail ont été réalisées au laboratoire d'écologie végétale et biogéochimie, du professeur Pierre Meerts (logiciel Statistica) avec l'aide de Guy Josens. Les travaux de terrain ont été réalisés grâce à l'appui financier de l'Institut royal des sciences naturelles de Belgique, à travers son programme de Point focal national pour la Convention sur la diversité biologique.

Références bibliographiques

Baret S., Cournac L., Thebaud C., Edwards P., Strasberg D., 2008
Effects of canopy gap sizeon recruitment and invasion of the non-indigenous *Rubus alceifolius* in lowlandtropical rain forest on Reunion. *J. Trop. Ecol*., 24 : 337-345.

Byers J. E., 2000
Competition between two estuarine snails: implications for invasions of exotic species. *Ecology*, 81 (5) : 1225-1239.

Field C.B., Vazquez-Yanes C., 1993
Species of the genus *Piper* provie a model to study how plants can grow in different kinds of rainforest habitats. *Interciencia*, 18 (5) : 230-236.

Gerwing J. J., 2006
The influence of reproductive traits on liana abundance 10 years after conventional and reduced-impacts logging in the eastern Brazilian Amazon. *For. Ecol. Manage*., 221 : 83-90.

Hahn D., Starrenburg M. J., Akkermans A. D. L., 1990
Growth increment of *Alnus glutinosaupon* dual inoculation with effective and ineffective Frankia strains. *Plant and soil*, 122 : 121-127.

Harrington R. A., Brown B. J., Reich P. B., Fownes J. H., 1989
Ecophysiology of exotic and native shrubs in southern Wisconsin. II. Annual growth and carbon gain. *Oecologia*, 80 : 368-373.

Iyomi I. B., 2005
Parc national de Kahuzi-Biega (PNKB). Fact Sheet PNKB N°1, SYGIAP ICCN, RD Congo.

Lieberman D., Li M., 1992
Seedling recruitment patterns in a tropical dry forest in Ghana. *J. Veget. Sc*., 3 : 375-382.

Lüttge U., 1997
Physiological ecology of tropical plants. Springer-Verlag, Berlin.

Marcia V. D. L., Scariot A., 2006
Effects of logging, liana tangles and pasture on seed fate of dry forest tree species in Central Brazil. *For. Ecol. Manage*., 230 : 197-205.

Masumbuko N. C., Herpigny B., Barbier N., Habiyaremye M. F., Lejoly J., Meerts P., 2012
Life strategy traits of the liana *Sericostachys scandens* spreading in the montane forests in the Kahuzi-Bieha National Park (DR Congo). *Journal of Mountain Science*, 9 (5) : 665-675.

Mühlenberg M., Slowik J., Steinhauer-Burkart B., 1994
Parc national de Kahuzi-Biega. Brochure publiée par le projet zaïro-allemand IZCN/GTZ, Bukavu. Conservation de la nature intégrée, 52 p.

Odin H., 1972
Studies of the increment rhythm of Scots pine and Norway spruce plants. Technical Report. Sveriges lantbruksuniversitet. Studia forestalia Suecica, Stockholm, 32 p.

Pattison R. R., Goldstein G., Ares A., 1998
Growth, biomass allocation and photosynthesisof invasive and native Hawaiian rain forest species. *Oecologia*, ll7 : 449-459.

Putz F. E., 1984
The natural history of lianas on Barro Colorado Island, Panama. *Ecology*, 65 (6) : 1712-1724.

Sakai A. K., Allendorf F. W., Holt J. S., Lodge D. M., Molofsky J., With K. A., Baughman S., Cabin R. J., Cohen J. E., Ellstrand N. C., McCauley D. E., O'Neil P., Parker I. M., Thompson J. N., Weller S. G., 2001
The population biology of invasive species. *Annu. Rev. Ecol. Syst*., 32 : 305-332.

Sanches M. C., Válio I. F. M., 2008
Photosynthetic response of two tropical liana species grown under different irradiances. *Photosynthetica*, 46 (4) : 557-566.

Sharma S. S., Sen D. N., 1975
Effect of light on seed germinantion and growth of Merremiaspecies. *Folia Geobot. Phytotax*., 10 : 265-269.

Toledo-Aceves T., Swaine M. D., 2008a
Above- and below-ground competition between the liana *Acaciakamerunensis* and tree seedlings in contrasting light environments. *Plant Ecol*., 196 : 233-244.

Toledo-Aceves T., Swaine M. D., 2008b
Biomass allocation and photosynthetic responses of lianas and pioneer tree seedlings to light. *Acta Oecol*., 34 : 38-49.

Vuokko R., Kellomaki S., Hari P., 1977
The inherent growth rhythm and its effect on the daily height increment of plants. *Oikos*, 29 : 137-142.

Yamagiwa J., Basabose K. A., Kaleme K., Yumoto T., 2005
Diet of Grauer's gorillas in the montane forest of Kahuzi, Democratic Republic of Congo. *Int. J. Primatol*., 26 : 1345-1373.

Chapitre 30

Les caféiers Robusta endémiques de Guinée

Une ressource rare et menacée

Jean-Pierre Labouisse
Cirad, France

Moussa Diabaté
Irag, Guinée

Falaye Koné
Meef, Guinée

Ronan Rivallan
Cirad, France

Mohamed Diabaté
Irag, Guinée

Hubert de Foresta
IRD, France

Ouo Ouo Haba
Université de Nzérékoré, Guinée

Thierry Leroy
Cirad, France

Introduction

Le projet de recherche Fogefo-Plus (Forêts de Guinée forestière – Plantes utiles), mené dans le cadre du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D), a pour objectif principal d'identifier les plantes forestières utiles – hors bois d'œuvre et bois de chauffe – de Guinée forestière, une des régions naturelles de Guinée, et de caractériser leur importance économique pour les populations urbaines et rurales. Durant ce projet (2017-2020), des enquêtes ont été réalisées sur les principaux marchés urbains de cette région naturelle dans le but de recenser les produits forestiers commercialisés. Vingt-et-un villages ont été sélectionnés dans lesquels les espèces végétales utilisées ont fait l'objet d'inventaires botaniques. Des échantillons de semences, boutures et herbiers ont été collectés. Pour six espèces ligneuses, dont le caféier Robusta, des données sur la structure des populations et sur les pratiques de gestion de ces espèces par les villageois ont aussi été recueillies. Enfin, la structure génétique des caféiers collectés a été étudiée en détail dans le but d'identifier des individus ou populations endémiques à la Guinée.

L'espèce *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, couramment appelée caféier Robusta, fournit environ 40 % de la production mondiale de café (ICO, 2020). Son aire de répartition naturelle s'étend de la Guinée jusqu'à l'Afrique de l'Est avec une interruption entre le Bénin et le Ghana. Berthaud (1984) a mis en évidence chez cette espèce l'existence de deux groupes génétiques distincts, positionnés de part et d'autre de ce « couloir dahoméen » : à l'ouest, le groupe génétique « guinéen » qui englobe les caféiers poussant naturellement dans les forêts de Guinée et de Côte d'Ivoire ; à l'est, le groupe « congolais » composé des populations de caféiers rencontrées depuis le Cameroun et le Gabon jusqu'à l'Ouganda. À l'intérieur du groupe congolais, des travaux de marquage génétique réalisés depuis une trentaine d'années (Montagnon *et al*., 1998 ; Gomez *et al*., 2009 ; Cubry *et al*., 2013 ; Leroy *et al*., 2014) ont permis de définir cinq sous-groupes de diversité (CON-SG1, CON-SG2, CON-B, CON-C, et CON-UW).

À la suite de travaux récents de génotypage de spécimens conservés dans deux herbiers du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, il a été proposé de classer les caféiers du groupe guinéen en cinq sous-groupes génétiques (Labouisse *et al*., 2020). Deux sous-groupes sont bien différenciés et spécifiques à la Guinée : le sous-groupe GUI-sgG1 correspondant au *C. canephora* var. *maclaudii* repéré par Chevalier (1905) dans une forêt près de Mamou au sud-ouest du Fouta-Djalon et le sous-groupe GUI-sgG2 correspondant à *C. canephora* cv. Gamé, cultivar population originaire de Bambaradou, un village proche de Macenta, et mis en culture dès les années 1930 à l'initiative du chef de canton Gamé Guilavogui (fig. 1). Au sud-est de la Guinée, dans les préfectures de Beyla, Lola, Kérouané et Nzérékoré, d'autres populations de *C. canephora* localisées dans des forêts semi-décidues ou dans les galeries forestières ont été assignées aux sous-groupes GUI-sgG4 et GUI-sgG5. Ces deux sous-groupes sont faiblement différentiés et ont une aire de répartition très large, allant du massif du Ziama en Guinée jusqu'à l'est de la Côte d'Ivoire. Pour la présente étude, nous les regrouperons sous une étiquette unique (GUI-sgG4&5). Le dernier sous-groupe (GUI-sgG3) ne se rencontre qu'au sud de la Côte d'Ivoire.

En Guinée, le caféier Robusta est majoritairement produit dans la région naturelle de Guinée forestière dans des agroforêts associant cultures pérennes de rente (cacaoyer, caféier et colatier) et végétation subspontanée (Correia *et al.,* 2010 ; Camara *et al.,* 2012). En raison d'introductions massives de semences de caféiers en provenance d'Afrique centrale dès le développement de la caféiculture au début des années 1930 (Portères, 1962), les Robusta cultivés en Guinée forestière appartiennent majoritairement au groupe génétique congolais. Des populations du groupe génétique guinéen peuvent cependant se maintenir dans des galeries ou des îlots forestiers faiblement exploités par l'homme. S'il existe encore des *C. canephora* sauvages en Guinée, ils doivent être rares et, à notre connaissance, n'ont pas fait l'objet d'observations récentes. Tous ces caféiers endémiques, sauvages ou mis en culture, subissent une érosion importante en raison de la déforestation, de la concurrence avec d'autres cultures et du changement climatique, particulièrement dans la zone de transition forêt-savane.

Figure 1

Carte de la Guinée avec les sites de collecte et le site du CRRA de l'Irag à Sérédou. La région naturelle de Guinée forestière est représentée en vert. Les zones délimitées par des ellipses colorées correspondent aux habitats naturels des sous-groupes guinéens.

Selon Labouisse *et al.* (2020).

En outre, comme cela a déjà été démontré en Côte d'Ivoire par Berthaud (1984), l'hybridation est fréquente entre caféiers endémiques et caféiers introduits du groupe congolais. Enfin, les caféiers du groupe guinéen sont très faiblement représentés dans les collections *ex situ* ; la centaine de clones conservés par l'Institut de recherche agronomique de Guinée (Irag) dans le Centre régional de recherche agronomique (CRRA) de Sérédou appartiennent principalement au groupe congolais.

La recherche de caféiers *C. canephora* endémiques de Guinée, en tant qu'éléments constitutifs de la flore forestière locale, est l'un des objectifs spécifiques du projet Fogefo-Plus. Nous présentons ici le bilan des prospections et collectes d'échantillons. Nous décrivons les travaux de génotypage destinés à déterminer l'appartenance des échantillons collectés aux différents groupes et sous-groupes génétiques. À la lumière des résultats, nous discutons ensuite de l'identité des échantillons en lien avec leur situation géographique et l'historique des introductions en Guinée. Enfin, nous décrivons les mesures à mettre en œuvre pour préserver et valoriser la diversité de *C. canephora* en Guinée.

Matériels et méthodes

Prospections

Les résultats des précédents travaux de génotypage sur les spécimens d'herbier collectés au XXe siècle, ainsi que l'analyse de la documentation associée, ont guidé les partenaires du projet Fogefo-Plus dans le choix des sites à prospecter pour la recherche de caféiers endémiques, sauvages ou mis en culture. Des entretiens individuels et collectifs – menés avec deux ou trois groupes de villageois structurés selon l'âge et le sexe – ont été organisés afin de recueillir des informations sur les caféiers présents sur le territoire du village (origine, âge, etc.). L'environnement, et en particulier la végétation associée aux caféiers, a été décrit ; les pieds de caféiers ont été marqués et mesurés (hauteur, circonférence du tronc) ; des boutures et des rameaux ont été prélevés pour la collection vivante et l'herbier de l'Irag.

Génotypage

Des échantillons de caféier ont été prélevés, à raison d'une feuille par pied, séchés, conditionnés dans des sachets plastiques contenant du silicagel et envoyés au Grand plateau technique régional de génotypage (http://www.gptr-lr-genotypage.com) à Montpellier (France). Trente génotypes caractérisés dans une précédente étude (Labouisse *et al.,* 2020), et appartenant aux différents sous-groupes guinéens et aux deux principaux sous-groupes congolais (CON-SG1 et CON-SG2), ont été ajoutés aux échantillons collectés pour servir de témoins.

Les méthodes utilisées pour l'extraction de l'ADN et le génotypage sont présentées en détail dans Labouisse *et al*. (2020). Sur les 23 microsatellites décrits dans cette même publication, 21 ont été utilisés pour la présente étude (Mg_M344 et Mg_M494 étant exclus). À partir des données de génotypage, une matrice de dissimilarité a été calculée selon la méthode du *simple matching* et une analyse factorielle en coordonnées principales (PCoA) réalisée grâce au logiciel DARwin v.6 (Perrier et Jacquemoud-Collet, 2006), afin d'obtenir une représentation globale de la diversité génétique des échantillons étudiés. En outre, grâce au logiciel Structure V.2.3.4. (Pritchard *et al.*, 2000), nous avons testé l'appartenance de chaque échantillon à K populations distinctes non prédéfinies (K variant de 1 à 10) et estimé le degré d'hybridation (exprimé par le coefficient d'appartenance) entre groupes génétiques congolais et guinéen. Les paramètres suivants ont été appliqués : *burn-in period* de 100 000 avec 100 000 itérations, 10 *runs* indépendants pour chaque K. Les données obtenues par Structure ont été analysées sur le serveur en ligne Clumpak (Kopelman *et al*., 2015).

Résultats

Échantillons de caféiers collectés

Deux grandes campagnes de collecte ont été menées : du 14 décembre 2017 au 5 février 2018 et du 26 juin au 24 octobre 2019. Au total, 128 échantillons de *C. canephora* ont été collectés pour génotypage : 44 échantillons collectés dans onze villages de Guinée forestière et 53 échantillons dans un site unique en Moyenne Guinée près du village de Ngaïna sur les contreforts du Mont Bilima-Hénéré (fig. 1) ; 25 échantillons prélevés dans le jardin botanique de l'Irag, créé entre 1939 et 1945 à Sérédou par Portères ; six échantillons de caféiers, à l'origine imprécise, prélevés dans la collection de l'Irag au CRRA de Sérédou.

Six échantillons de caféiers du Mont Bilima-Hénéré ont été prélevés pour l'herbier national de Guinée conservé au CRRA de Sérédou (herbier Serg selon l'*Index Herbariorum*).

Enfin, 145 boutures de caféiers ont été prélevées et introduites dans la pépinière du jardin botanique de l'Irag à Sérédou.

Analyse génétique globale

Parmi les 128 échantillons de caféiers collectés, treize n'ont pu être analysés en raison du grand nombre de données de génotypage manquantes. Les analyses ont donc porté sur 115 échantillons collectés et 30 échantillons témoins.

Sur la représentation de l'analyse factorielle (fig. 2), l'ensemble des 53 échantillons collectés dans la forêt de Bilima-Hénéré, et eux seuls, se regroupent avec les témoins du sous-groupe GUI-sgG1 (var. *maclaudii*) ; quatre échantillons collectés dans le jardin botanique font partie du sous-groupe GUI-sgG2 (cultivar Gamé) ; il n'y a aucun échantillon du sous-groupe guinéen GUI-sgG4&5 ; plusieurs échantillons font partie du groupe congolais (sous-groupes CON-SG1 et CON-SG2). En outre, une trentaine d'échantillons occupent une position intermédiaire entre les différents groupes témoins laissant penser qu'ils peuvent résulter d'un ou de plusieurs événements d'hybridation entre caféiers des groupes congolais et guinéen.

Afin de mieux décrire ces échantillons hybrides, nous avons réalisé une analyse avec le logiciel Structure (fig. 3). Les échantillons du sous-groupe GUI-sgG1 n'ont pas été intégrés à cette analyse car de précédents travaux (Labouisse *et al.,* 2020) ont montré qu'ils constituent une population distincte et très homogène du fait de son isolement, à l'ouest du Fouta-Djalon, et de la distance géographique qui la sépare de la Guinée forestière. Au total 86 génotypes ont été analysés (62 échantillons collectés et 24 témoins). Sur la base de la statistique proposée par Evanno *et al*. (2005), seules les représentations graphiques obtenues pour K = 2 (Delta K d'Evanno = 1 354,6) et K = 3 (Delta K = 299,4), ont été retenues (fig. 3). Grâce aux génotypes témoins, ces représentations ont permis de mettre

Figure 2

Représentation des résultats de l'analyse factorielle (PCoA) des données de génotypage de 115 échantillons de C. canephora *collectés (en noir) et 30 témoins (en couleur). L'axe 1 (inertie 33,2 %) met en évidence la séparation nette entre groupe congolais et groupe guinéen.*

Figure 3

Représentation des résultats de l'analyse avec le logiciel Structure de 86 génotypes (sous-groupe GUI-sgG1 exclus) de C. canephora.
Chaque individu est représenté par une barre verticale, partitionnée en K segments colorés représentant le coefficient d'appartenance estimé à chacun des K clusters.
Les données par échantillons sont accessibles en ligne.

en évidence des clusters d'appartenance correspondants aux groupes guinéen et congolais (pour K = 2) et, à l'intérieur de ce dernier, aux deux sous-groupes CON-SG1 et CON-SG2 (pour K = 3). Deux échantillons collectés font partie du sous-groupe CON-SG1 et 23 du sous-groupe CON-SG2. Les 32 hybrides congolais-guinéens ont tous un parent congolais du sous-groupe CON-SG2 (aucun du sous-groupe CON-SG1). Chez ces hybrides, la part du génome congolais (coefficient d'appartenance) varie de 41 à 91 %. Parmi les échantillons collectés, nous aurions donc une proportion significative d'hybrides congolais-guinéens de première génération (F1) ainsi que des hybrides de génération supérieure à 1, obtenus par rétrocroisement avec des congolais (Fn avec n > 1).

Caféiers du Mont Bilima-Hénéré

Les partenaires du projet Fogefo-Plus ont prospecté la forêt située sur le contrefort ouest du Mont Bilima-Hénéré près de Mamou (Moyenne Guinée). La forêt couvre une surface d'environ 50 ha. La densité moyenne des caféiers de diamètre au collet supérieur à 5 cm a été estimée à 177 pieds par hectare, et la hauteur des pieds observés peut dépasser 10 m. À proximité du site, les habitants du village de Ngaïna exploitent les ressources de la forêt pour les fruits sauvages et les plantes médicinales et pour la fabrication d'objets domestiques. Même s'ils font l'objet d'une cueillette sporadique pour une autoconsommation locale, les caféiers ne sont pas cultivés à proprement parler (pas d'entretien ni de plantation). Les 53 caféiers échantillonnés sont tous très proches génétiquement des spécimens d'herbier prélevés entre 1905 et 1993 par différents botanistes, spécimens utilisés comme témoins du sous-groupe GUI-sgG1.

Caféiers de Macenta

Dans les villages autour de Macenta (Baladou, Passima, Lohouma, Zoubouroumaï), aire d'origine du caféier *C. canephora* cv. Gamé, les partenaires du projet se sont focalisés sur la recherche de ce cultivar population décrit par Portères (1962). Sur l'indication des villageois, de vieilles plantations ont été visitées et au total 29 pieds de caféiers, dont l'âge moyen est estimé à 50 ans et dont les plus vieux peuvent atteindre 70 ans, ont été mesurés et collectés. Aucun caféier n'appartenait au sous-groupe GUI-sgG2 Gamé. Ainsi à Lohouma, seize caféiers d'une hauteur moyenne de 4,54 m (max. 7 m) et de diamètre moyen à la base de 0,23 m (max. 0,32 m), donnés par les planteurs comme étant des Gamé, se sont révélés être soit des hybrides congolais-guinéens (quatre étant des hybrides F1) soit des congolais du sous-groupe CON-SG2.

Caféiers du jardin botanique

C'est dans le jardin botanique du CRRA de Sérédou, qui a fait l'objet d'une réhabilitation dans le cadre du programme SEP2D (projet Jabo-Reva), que nous avons identifié quatre pieds de caféiers (JB4,19, 20 et 23) génétiquement très

proches du cultivar Gamé. Les autres caféiers du jardin botanique sont un congolais du sous-groupe CON-SG1, un congolais du sous-groupe CON-SG2 et dix-sept hybrides congolais-guinéens (dont seize hybrides F1). Parmi ceux-ci, il est probable que trois caféiers aient été clonés. On observe en effet des profils génétiques identiques pour les couples JB3-JB21, JB2-JB11 et JB13-JB15.

Caféiers de la collection ex situ du CRRA de Sérédou

Sur les six accessions génotypées, l'accession FER1 s'est révélée être un congolais CON-SG1 proche des Niaouli, l'accession SER1 est un CON-SG2, deux (BIL4 et SER40) des hybrides F1 congolais-guinéens et les deux derniers (SER11B et SER12) des hybrides congolais-guinéens de génération supérieure à 1.

Caféiers du sud-est de la Guinée forestière

La recherche de caféiers endémiques sur des sites initialement prospectés dans la première partie du xxe siècle dans les préfectures de Beyla, Lola, Kérouané et Nzérékoré n'a pas donné les résultats escomptés. Tous les échantillons analysés sont soit des congolais, soit des hybrides congolais-guinéens.

Le tableau 1[1] en annexe donne la liste des échantillons collectés et des témoins, leur localisation et leur appartenance aux différents groupes et sous-groupes génétiques.

Discussion

Les analyses des données du génotypage obtenues avec 21 marqueurs microsatellites et des témoins adéquats ont permis de classer sans ambiguïté les différents échantillons récoltés dans les groupes guinéen ou congolais et leurs sous-groupes respectifs. Grâce à l'analyse faite avec le logiciel Structure, les hybrides entre groupes ont pu être détectés et le pourcentage d'appartenance à chaque groupe estimé.

C. canephora var. *maclaudii*

Cent-treize ans après la première exploration par Chevalier (1905), la petite forêt près du Mont Bilima-Hénéré contient toujours une population relativement dense de caféiers. Les 53 échantillons collectés appartiennent tous au sous-groupe des *C. canephora* var. *maclaudii* (GUI-sgG1). La forêt est isolée de la région

1 Voir aussi la rubrique « Accès aux données et fichiers complémentaires » en fin de chapitre.

de Kissidougou, la zone de caféiculture la plus occidentale de Guinée forestière, par une distance d'environ 300 km et par la barrière que constitue le prolongement méridional des hauts plateaux du Fouta-Djalon. D'une grande homogénéité mais d'effectif limité, cette population est vulnérable car située dans une zone de transition forêt-savane. Elle est menacée par les défrichements d'une partie de la forêt pour la mise en culture de plantes vivrières. Les caféiers qui la constituent n'ont jamais été étudiés tant sur le plan agronomique (productivité, résistance/sensibilité aux maladies) que sur celui de la qualité du café. Ils pourraient présenter des caractères adaptatifs intéressants pour la résistance à la sècheresse.

C. canephora cv. Gamé

Selon le rapport annuel de 1958 de l'ancienne station d'expérimentation de Sérédou (non publié), la collection *ex situ* contenait huit clones portant l'appellation de Gamé, qui ont disparu depuis cette date. Les quatre caféiers appartenant au sous-groupe GUI-sgG2 repérés dans le jardin botanique doivent donc être précieusement conservés et multipliés par bouturage horticole.

Un nombre significatif d'hybrides entre guinéens et congolais, dont plusieurs hybrides de première génération (F1), ont été repérés dans le jardin botanique et dans les plantations autour de Macenta parmi des caféiers désignés par les planteurs comme des Gamé. L'explication la plus probable est que ces caféiers, dont l'âge varie entre 40 et 70 ans, descendent de pieds-mères « Gamé vrais » qui se sont naturellement croisés avec des caféiers introduits du groupe congolais. À la fin des années 1950, Portères (1962) considérait que 50 % des plantations du cercle de Macenta étaient plantées avec du Gamé. Il est très probable que ce pourcentage englobait des hybrides F1 congolais-guinéens, non identifiables à cette époque.

C. canephora du groupe congolais

La majorité des caféiers de type congolais identifiés parmi les échantillons collectés appartiennent au sous-groupe CON-SG2. Plusieurs types de caféiers appartenant à ce sous-groupe ont été décrits par Portères (1962) : le « Robusta du Congo belge », le « Robusta Lula » et le « Robusta Ineac », tous originaires de l'actuelle République démocratique du Congo. Ils furent massivement introduits en Guinée forestière via les stations agricoles ou de recherche de Côte d'Ivoire à partir des années 1930.

Les caféiers du sous-groupe CON-SG1 sont plus rares. Deux échantillons ont été assignés à ce sous-groupe. Selon une analyse par la méthode du *neighbor-joining* (non décrite ici), l'accession FER1 de la collection de l'Irag est très proche des Niaouli, un cultivar population originaire du Gabon mais introduit depuis le Togo ou le Bénin (Portères, 1962 ; Adibolo et Bertrand, 1988). Pour l'échantillon JB18 du jardin botanique, une analyse génétique plus poussée serait nécessaire pour déterminer son origine précise.

Conclusion et perspectives

Les prospections réalisées lors du projet Fogefo-Plus ont permis de retrouver une population de *C. canephora* var. *maclaudii* (groupe guinéen, sous-groupe GUI-sgG1) qui semble géographiquement circonscrite à la forêt du Mont Bilima-Héneré, un site très éloigné des zones traditionnelles de caféiculture. Si quatre génotypes du cultivar Gamé (sous-groupe GUI-sgG2) ont été identifiés sans ambiguïté dans le jardin botanique Portères à Sérédou, aucun autre caféier appartenant au groupe guinéen n'a pu être trouvé dans les plantations ou forêts proches de Macenta ou au sud-est de la Guinée forestière. La rareté des *C. canephora* endémiques s'explique principalement par l'introduction dès les années 1930 de caféiers Robusta du groupe congolais dans cette région et leur hybridation naturelle avec les caféiers locaux. En outre, la trachéomycose, une maladie fongique due à *Fusarium xylarioides*, a affecté les caféières de Guinée à partir de 1958. Ceci a provoqué une forte mortalité chez les caféiers endémiques et entraîné leur arrachage massif et leur remplacement par des caféiers congolais au début des années 1960 (Fassi, 1970). On peut faire l'hypothèse que les introgressions entre les deux groupes génétiques seront de plus en plus fréquentes et que les génotypes guinéens « purs » seront de plus en plus difficiles à trouver.

La collecte et la mise en collection *ex situ* sur la station de Sérédou des caféiers endémiques, identifiés lors du projet Fogefo-Plus, constituent une première mesure de sauvegarde de cette ressource, à des fins de conservation de la biodiversité mais aussi d'utilisation dans un futur programme d'amélioration génétique du caféier Robusta. En effet, une voie efficace de progrès génétique est l'hybridation de génotypes appartenant aux deux groupes hétérotiques guinéen et congolais (Berthaud, 1984 ; Leroy *et al*., 1993, 1997). Les descendants hybrides F1, obtenus naturellement ou par pollinisation contrôlée, ont montré une vigueur végétative et une productivité souvent supérieure à la moyenne des deux parents. L'enrichissement de la collection de l'Irag en génotypes du groupe guinéen *(C. canephora* var. *maclaudii* du Mont Bilima-Héneré et cv. Gamé du jardin botanique de Sérédou) est donc un préalable à la mise en œuvre de cette stratégie d'amélioration. Des rejets orthotropes peuvent être prélevés sur les pieds-mères et multipliés par bouturage. Dans le cas des Maclaudii, en raison de l'isolement du site, on pourra aussi prélever des semences. En outre, plusieurs hybrides F1 naturels congolais-guinéens ont été identifiés dans les plantations, le jardin botanique et la collection. Les meilleurs de ces génotypes hybrides peuvent être multipliés par bouturage et testés directement dans des essais multiclonaux pour évaluer leurs performances agronomiques et la qualité de leur produit.

Pour les caféiers de la forêt du Mont Bilima-Héneré, la mise en collection d'un lot d'une centaine de génotypes devrait être complétée par des mesures de conservation *in situ.* Sur ce site, des recherches plus poussées en génétique et écologie, mais aussi en sciences humaines, seraient utiles afin de mieux décrire cette population de caféiers et d'identifier les facteurs qui pourraient à terme affecter sa survie. Afin de protéger cette ressource de tout prélèvement incontrôlé

et d'assurer sa conservation sur le long terme, les villageois de Ngaïna, les chercheurs et les services de l'État, comme la direction nationale des Eaux et Forêts, œuvreront de concert afin de définir les mesures indispensables à la gestion durable de cette forêt, par exemple par la mise en place d'un cadre réglementaire mais aussi par la promotion d'activités de valorisation des produits de la forêt.

Accès aux données et fichiers complémentaires

Les données brutes et les analyses sont accessibles dans un entrepôt numérique à l'adresse https://doi.org/10.18167/DVN1/6VBK46

1_Cafe_Guinee_Tableau1A_Liste_des_echantillons.odt

2_Cafe_Guinee_Matrice_Genotypage_DarWinformat.txt

3_Cafe_Guinee_Analyse_factorielle.odt

4_Cafe_Guinee_Analyse_bayesienne.odt

Aspects réglementaires

La Guinée a ratifié le protocole de Nagoya sur l'accès et le partage des avantages (APA) en 2015. Le point focal national APA de Guinée (responsable M. Laye Condé) a été contacté et informé au préalable des activités du projet Fogefo-Plus par le coordinateur du projet M. Moussa Diabaté, chef du programme « Foresterie et agroforesterie » à l'Irag. Lors des enquêtes, les partenaires de l'Irag et de la direction nationale des Eaux et Forêts ont présenté les objectifs du projet à la population, expliqué l'intérêt de cette opération pour l'amélioration de la caféiculture en Guinée et ont rémunéré des villageois pour les assister dans les opérations de terrain. Les villageois ont donné leur accord pour ces opérations et le prélèvement des échantillons. Le matériel végétal destiné au génotypage a fait l'objet d'un accord de transfert entre l'Irag et le Cirad (No 167/Irag/DG/2020).

Remerciements

Les auteurs remercient en premier lieu les habitants des villages qui ont répondu aux enquêtes et donné l'autorisation d'accès aux sites et de collecte des

échantillons, le CRRA de Sérédou pour la mise à disposition de ses chercheurs et « jeunes chercheurs » engagés dans deux projets du programme SEP2D (Fogefo-Plus et Jabo-Reva), le service des Eaux et Forêts de Mamou, la direction générale de l'Irag et la direction nationale des Eaux et Forêts de Guinée qui ont autorisé l'exportation des échantillons de feuilles pour l'analyse génétique.

Ils remercient aussi le Muséum national d'histoire naturelle de Paris et la direction de l'unité mixte de recherche « Éco-Anthropologie » pour avoir donné accès à la documentation et aux spécimens de l'herbier du professeur Portères, utilisés comme témoins dans cette étude, ainsi que le Grand plateau technique régional du site de Lavalette (Montpellier LR Génopole®, Cirad) pour avoir accueilli les travaux de génotypage.

Enfin, les responsables, les animateurs et le secrétariat du programme SEP2D sont vivement remerciés pour leur engagement et leur disponibilité dans l'organisation et le suivi des activités, ainsi que les bailleurs et institutions scientifiques partenaires.

Références bibliographiques

Adibolo Y., Bertrand B., 1988
Étude de l'origine de la variété Niaouli au Togo et Bénin. *Café Cacao Thé*, 32 (4) : 293-298.

Berthaud J., 1984
Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes : évaluation de la richesse génétique des populations sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application. Thèse de doctorat, université Paris-Sud, Orsay, 364 p.

Camara A. A., Dugué P., Foresta H. (de), 2012
Transformation des mosaïques de forêt-savane par des pratiques agroforestières en Afrique subsaharienne, Guinée et Cameroun. *Cybergeo*. https://doi.org/10.4000/cybergeo.25588

Chevalier A., 1905
Les caféiers sauvages de la Guinée française. Séance du 29 mai 1905. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences Paris*, 140 : 1472-1475.

Correia M., Diabaté M., Beavogui P., Guilavogui K., Lamanda N., Foresta H. (de), 2010
Conserving forest tree diversity in Guinée forestière (Guinea, West Africa): the role of coffee-based agroforests. *Biodiversity and Conservation,* 19 (6) : 1725-1747. https://doi.org/10.1007/s10531-010-9800-6

Cubry P., De Bellis F., Pot D., Musoli P, Leroy T., 2013
Global analysis of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (Rubiaceae) from the Guineo-Congolese region reveals impacts from climatic refuges and migration effects. *Genetic Resources and Crop Evolution,* 60 (2) : 483-501. https://doi.org/10.1007/s10722-012-9851-5

Evanno G., Regnaut S., Goudet J., 2005
Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study. *Molecular Ecology,* 14 (8) : 2611-2620. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x

Fassi B., 1970
Rapport au gouvernement de la Guinée sur la trachéomycose des caféiers et autres maladies des cultures. PNUD N°AT 2757. FAO, Rome, 24 p.

Gomez C., Dussert S., Hamon P., Hamon S., De Kochko A., Poncet V., 2009
Current genetic differentiation of *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner in the Guineo-Congolian African zone: cumulative impact of ancient climatic changes and recent human activities. *BMC Evolutionary Biology*, 9 (1) : 167. https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-167

ICO, 2020
Coffee market report. September 2020. International Coffee Organization. http://www.ico.org/documents/cy2019-20/cmr-0920-e.pdf

Kopelman N. M., Mayzel J., Jakobsson M., Rosenberg N. A., Mayrose I., 2015
Clumpak: a program for identifying clustering modes and packaging population structure inferences across K. *Molecular Ecology Resources*, 15 (5) : 1179-1191. https://doi.org/10.1111/1755-0998.12387

Labouisse J.-P., Cubry P., Austerlitz F., Rivallan R., Nguyen H. A., 2020
New insights on spatial genetic structure and diversity of *Coffea canephora* (Rubiaceae) in Upper Guinea based on old herbaria. *Plant Ecology and Evolution,* 153 (1) : 82-100. https://doi.org/10.5091/plecevo.2020.1584

Leroy T., Montagnon C., Charrier A., Eskes A. B., 1993
Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. I. Characterization and evaluation of breeding populations and values of intergroup hybrids. *Euphytica,* 67 (1-2) : 113-125. https://doi.org/10.1007/BF00022734

Leroy T., Montagnon C., Cilas C., Yapo A., Charmetant P., Eskes A. B., 1997
Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. III. Genetic gains and results of first cycle intergroup crosses. *Euphytica*, 95 (3) : 347-354. https://doi.org/10.1023/A:1003074716379

Leroy T., De Bellis F., Legnate H., Musoli P., Kalonji A., Loor Solórzano R. G., Cubry P., 2014
Developing core collections to optimize the management and the exploitation of diversity of the coffee *Coffea canephora. Genetica*, 142 (3) : 185-199. https://doi.org/10.1007/s10709-014-9766-5

Montagnon C., Leroy T., Eskes A., 1998
Amélioration variétale de *Coffea canephora*. 1 : Critères et méthodes de sélection. *Plantations Recherche Développement,* 5 (2) : 18-33.

Perrier X., Jacquemoud-Collet J.-P., 2006
DARwin software. http://darwin.cirad.fr/

Portères R., 1962
Caféiers de la République de Guinée. *Café Cacao Thé,* 6 (1) : 3-18.

Pritchard J. K., Stephens M., Donnelly P., 2000
Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155 : 945-959.

Annexe

Ce tableau est également disponible dans l'entrepôt numérique à l'adresse https://doi.org/10.18167/DVN1/6VBK46.

Tableau 1
Liste des échantillons de caféiers C. canephora *collectés lors du projet Fogefo-Plus et des témoins utilisés pour le génotypage.*

N° Cirad	N° collecte	Préfecture	Village	Lieu de collecte	Latitude	Longitude	Groupe génétique
18_00001 à 18_00053	53 échantillons	Mamou	Bilima	Forêt près du Mont Bilima-Hénéré	10.35	- 12.31	GUI-sgG1 var. *maclaudii*
18_00054	Lohouma W1P1	Macenta	Lohouma	Plantation M. Gamé Guilavogui	8.61	- 9.50	Hybride Fn C/G
18_00055	Lohouma W1P2	Macenta	Lohouma	Plantation M. Gamé Guilavogui	8.61	- 9.50	Hybride F1 C/G
18_00056	Lohouma W1P3	Macenta	Lohouma	Plantation M. Gamé Guilavogui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00057	Lohouma W1P4	Macenta	Lohouma	Plantation M. Gamé Guilavogui	8.61	- 9.50	Hybride F1 C/G
18_00058	Lohouma E1P1	Macenta	Lohouma	Plantations de M. Kaliva Zoumanigui	8.61	- 9.50	Hybride Fn C/G
18_00059	Lohouma E1P2	Macenta	Lohouma	Plantations de M. Kaliva Zoumanigui	8.61	- 9.50	Hybride Fn C/G
18_00060	Lohouma E1P3	Macenta	Lohouma	Plantations de M. Kaliva Zoumanigui	8.61	- 9.50	Hybride F1 C/G
18_00061	Lohouma E1P4	Macenta	Lohouma	Plantations de M. Kaliva Zoumanigui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00062	Lohouma N1P1	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Kèbè Gaou Zoumanigui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00063	Lohouma N1P2	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Kèbè Gaou Zoumanigui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00064	Lohouma N1P3	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Kèbè Gaou Zoumanigui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00065	Lohouma N1P4	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Kèbè Gaou Zoumanigui	8.61	- 9.50	Hybride F1 C/G

Les échantillons en grisé n'ont pas pu être génotypés. La mention « Hybride Fn C/G » indique des introgressés congolais-guinéens de génération n supérieure à 1.

N° Cirad	N° collecte	Préfecture	Village	Lieu de collecte	Latitude	Longitude	Groupe génétique
18_00066	Lohouma S1P1	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Sogony Guilavogui	8.61	- 9.50	Hybride Fn C/G
18_00067	Lohouma S1P2	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Sogony Guilavogui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00068	Lohouma S1P3	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Sogony Guilavogui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00069	Lohouma S1P4	Macenta	Lohouma	Plantations de Mme Sogony Guilavogui	8.61	- 9.50	CON-SG2
18_00070	Baladou W1P1	Macenta	Baladou	Plantations de M. Mamadi Camara	8.52	- 9.63	Hybride Fn C/G
18_00071	Baladou W1P2	Macenta	Baladou	Plantations de M. Mamadi Camara	8.52	- 9.63	CON-SG2
18_00072	Baladou W1P3	Macenta	Baladou	Plantations de M. Mamadi Camara	8.52	- 9.63	CON-SG2
18_00073	Baladou W1P4	Macenta	Baladou	Plantations de M. Mamadi Camara	8.52	- 9.63	CON-SG2
18_00074	Baladou S1P1	Macenta	Baladou	Plantations de M. Maka Amara Camara	8.52	- 9.63	CON-SG2
18_00075	Baladou S1P2	Macenta	Baladou	Plantations de M. Maka Amara Camara	8.52	- 9.63	CON-SG2
18_00076	Baladou S1P3	Macenta	Baladou	Plantations de M. Maka Amara Camara	8.52	- 9.63	CON-SG2
18_00077	Baladou S1P4	Macenta	Baladou	Plantations de M. Maka Amara Camara	8.52	- 9.63	CON-SG2
18_00078	Piné P1	Lola	Piné	Plantation de M. Kèfa Soromou	7.93	- 8.13	
18_00079	Piné P2	Lola	Piné	Forêt sacré de Guékparaloge	7.93	- 8.13	
18_00080	Piné P3	Lola	Piné	Forêt sacré de Guékparaloge	7.93	- 8.13	
18_00081	Passima S1P1	Macenta	Passima	Plantation de M. Zézé Guilavogui	8.60	- 9.52	CON-SG2
18_00082	Passima S1P2	Macenta	Passima	Plantation de M. Zézé Guilavogui	8.60	- 9.52	CON-SG2
18_00083	Passima S1P3	Macenta	Passima	Plantation de M. Zézé Guilavogui	8.60	- 9.52	CON-SG2
18_00084	Passima S1P4	Macenta	Passima	Plantation de M. Djégbéye Guilavogui	8.60	- 9.52	CON-SG2
18_00085	Passima S1P5	Macenta	Passima	Plantation de M. Djégbéye Guilavogui	8.60	- 9.52	CON-SG2
18_00086	Frakobadala P1	Kérouané	Frakobadala	Galerie forestière près du village	8.90	- 8.95	CON-SG2

Les échantillons en grisé n'ont pas pu être génotypés. La mention « Hybride Fn C/G » indique des introgressés congolais-guinéens de génération n supérieure à 1. […]

[…]

N° Cirad	N° collecte	Préfecture	Village	Lieu de collecte	Latitude	Longitude	Groupe génétique
18_00087	Frakobadala P2	Kérouané	Frakobadala	Savane arbustive près du Mont Dio Dio	8.90	- 8.95	
18_00088	Frakobadala P3	Kérouané	Frakobadala	Galerie forestière près du village	8.90	- 8.95	
18_00089	Toubakorono P1	Kérouané	Toubakorono	Formation secondaire (jachère jeune)	8.88	- 8.93	Hybride Fn C/G
18_00090	Toubakorono P2	Kérouané	Toubakorono	Relique de forêt dense humide	8.88	- 8.93	Hybride F1 C/G
18_00091	Famoila P1	Beyla	Famoila	Savane arborée à *Khaya senegalensis*	8.88	- 8.66	CON-SG2
18_00092	Diarakorodougou P1	Beyla	Diarakorodougou	Savane arborée à *Uapaca togoensis*	8.40	- 8.75	
18_00093	BIL4	Macenta	Sérédou	Collection Irag (descendance *MacLaudi*)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
18_00094	FER1	Kissidougou	Fermessadou	Collection Irag (prosp. 1990s, Fermessadou)	9.14	- 10.15	CON-SG1
18_00095	SER1	Macenta	Sérédou	Collection Irag (prosp. 1990s, Sérédou)	8.38	- 9.29	CON-SG2
18_00096	JB1	Macenta	Sérédou	Jardin botanique	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
18_00097	JB2	Macenta	Sérédou	Jardin botanique	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
18_00098	JB3	Macenta	Sérédou	Jardin botanique	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
18_00099	JB4	Macenta	Sérédou	Jardin botanique	8.38	- 9.29	GUI-sgG2 Gamé
18_00100	JB5	Macenta	Sérédou	Jardin botanique	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
18_00101	SER11B	Macenta	Sérédou	Collection Irag (prosp. 1990s, plant. Dussert)	8.38	- 9.29	Hybride Fn C/G
18_00102	SER12	Macenta	Sérédou	Collection Irag (prosp. 1990s, plant. Dussert)	8.38	- 9.29	Hybride Fn C/G
18_00103	SER40	Macenta	Sérédou	Collection Irag (prosp. 1990s, Kissidoukoura)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00005	JB6	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc2)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G

Les échantillons en grisé n'ont pas pu être génotypés. La mention « Hybride Fn C/G » indique des introgressés congolais-guinéens de génération n supérieure à 1.

N° Cirad	N° collecte	Préfecture	Village	Lieu de collecte	Latitude	Longitude	Groupe génétique
20_00006	JB7	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc2)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00007	JB8	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc2)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00008	JB9	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc2)	8.38	- 9.29	
20_00009	JB10	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc2)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00010	JB11	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc2)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00011	JB12	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc2)	8.38	- 9.29	
20_00012	JB13	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00013	JB14	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00014	JB15	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00015	JB16	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	Hybride Fn C/G
20_00016	JB17	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00017	JB18	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	CON-SG1
20_00018	JB19	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2 Gamé
20_00019	JB20	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2 Gamé
20_00020	JB21	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00021	JB22	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc3)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00022	JB23	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc31)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2 Gamé
20_00023	JB24	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc31)	8.38	- 9.29	Hybride F1 C/G
20_00024	JB25	Macenta	Sérédou	Jardin botanique (Bloc32)	8.38	- 9.29	CON-SG2
20_00025	Gbéleye 1	Yomou	Gbéleye		7.56	- 8.81	
20_00026	Saadou 1	N'Zérékoré	Saadou		8.21	- 8.73	

Les échantillons en grisé n'ont pas pu être génotypés. La mention « Hybride Fn C/G » indique des introgressés congolais-guinéens de génération n supérieure à 1. […]

[…]

N° Cirad	N° collecte	Préfecture	Village	Lieu de collecte	Latitude	Longitude	Groupe génétique
20_00027	Diarakorodougou 1	Beyla	Diarakorodougou		8.38	- 8.73	
20_00028	Zoubouroumai 1	Macenta	Zoubouroumai		8.37	- 9.38	
20_00029	Zoubouroumai 2	Macenta	Zoubouroumai		8.42	- 9.35	
TÉMOINS							
18_00104	Bilima_1993_A	Mamou	Bilima	Prospection Irag 1993 n° A	10.35	- 12.31	GUI-sgG1
18_00106	Bilima_571	Mamou	Bilima	Prospection 1961 Portères n° 571	10.35	- 12.31	GUI-sgG1
18_00107	Bilima_570	Mamou	Bilima	Prospection 1961 Portères n° 570	10.35	- 12.31	GUI-sgG1
18_00108	Bambaradou_Gamé	Macenta	Bambaradou	Prospection Barthe 1936 (MNHN P03826305)	8.57	- 9.5	GUI-sgG2
18_00109	Macenta_Gamé_ CR257	Macenta	Macenta	Prospection Portères 1958 (CRA257)	8.55	- 9.47	GUI-sgG2
18_00110	Sérédou_Gamé_A	Macenta	Sérédou	Collection Portères à Sérédou (n° Gamé_A)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2
18_00111	Sérédou_Gamé_3	Macenta	Sérédou	Collection Portères à Sérédou (n° Gamé_3)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2
18_00113	Piné_1987_1	Lola	Piné	Forêt de Piné (prospection IRD/Cirad 1987)	7.93	- 8.13	GUI-sgG4&5
18_00114	Luki_A			Témoin SG1 n° S 9/23-1			CON-SG1
18_00115	Luki_B			Témoin SG1 n° S 19/46-1			CON-SG1
18_00116	Niaouli_1			Témoin SG1 n° CNRA Niaouli1			CON-SG1
18_00117	Niaouli_13			Témoin SG1 n° CNRA Niaouli13			CON-SG1
18_00118	Ineac_7			Témoin Congolais SG2 (n° CNRA 015 Ineac_7)			CON-SG2
18_00119	Ineac_2			Témoin Congolais SG2 (n° CNRA 042 Ineac_2)			CON-SG2

Les échantillons en grisé n'ont pas pu être génotypés.

N° Cirad	N° collecte	Préfecture	Village	Lieu de collecte	Latitude	Longitude	Groupe génétique
18_00120	Bilima_Chev1905	Mamou	Bilima	Prospection Chevalier 1905 (MNHN P03826011)	10.35	- 12.31	GUI-sgG1
18_00121	Bilima_1993_B	Mamou	Bilima	Prospection Irag 1993 n° B	10.35	- 12.31	GUI-sgG1
18_00122	Sérédou_Gamé_6	Macenta	Sérédou	Collection Portères à Sérédou (n° Gamé_6)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2
18_00123	Sérédou_Gamé_9	Macenta	Sérédou	Collection Portères à Sérédou (n° Gamé_9)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2
18_00124	Sérédou_Gamé_4	Macenta	Sérédou	Collection Portères à Sérédou (n° Gamé_4)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2
18_00125	Sérédou_Gamé_ CRA254	Macenta	Sérédou	Collection Portères à Sérédou (n° CRA254)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2
18_00126	Sérédou_Gamé_ CRA253	Macenta	Sérédou	Collection Portères à Sérédou (n° CRA253)	8.38	- 9.29	GUI-sgG2
18_00127	Milo_2592	Kérouané	Milo	Prospection Portères 1 n° 2592	8.98	- 8.98	GUI-sgG4&5
18_00131	Yarankadougou_ CRA259	Beyla	Yarankadougou	Prospection Portères n° CRA259	8.4	- 8.73	GUI-sgG4&5
18_00132	Beyla_MS3	Beyla	Beyla	Prospection Portères n° MS_3	8.69	- 8.64	GUI-sgG4&5
18_00133	Beyla_MS6	Beyla	Beyla	Prospection Portères n° MS_6	8.69	- 8.64	GUI-sgG4&5
18_00134	Foumbadougou	Lola	Foumbadougou	Prospection Portères 1959	8.19	- 8.42	GUI-sgG4&5
18_00135	Piné_1987_2	Lola	Piné	Prosp. IRD/Cirad 1987 n° CNRA 02827	7.93	- 8.13	GUI-sgG4&5
18_00136	Piné_1987_3	Lola	Piné	Prosp. IRD/Cirad 1987 n° CNRA 02817	7.93	- 8.13	GUI-sgG4&5
18_00137	Piné_1987_4	Lola	Piné	Prosp. IRD/Cirad 1987 n° CNRA 02843	7.93	- 8.13	GUI-sgG4&5
20_00044	S-BIL4_1993	Mamou	Bilima	Prospection Irag 1993	10.35	- 12.31	GUI-sgG1

Gestion durable des ressources végétales

Chapitre 31

Structure des peuplements, caractéristiques du bois et variations morphologiques de *Pterocarpus erinaceus* Poir. en Afrique de l'Ouest

Kossi Novinyo Segla
Université de Lomé, Togo

Kossi Adjonou
Université de Lomé, Togo

Benziwa Nathalie Johnson
Université de Lomé, Togo

Daniel Guibal
Cirad, France

Habou Rabiou
Université de Diffa, Niger

Babou André Bationo
Inera, Burkina Faso

Gilles Chaix
Cirad, France

Kouami Kokou
Université de Lomé, Togo

Patrick Langbour
Cirad, France

Adzo Dzifa D. Kokutse
Université de Lomé, Togo

Introduction

Pterocarpus erinaceus Poir., encore appelé Vène ou bois de rose, est une essence forestière endémique des savanes et forêts sahélo-soudaniennes et soudano-guinéennes dont l'aire de répartition naturelle s'étend en Afrique occidentale, du sud du Sénégal à l'ouest de la République centrafricaine (Sylla *et al*., 2002 ; Ouedraogo, 2007). Cette espèce est très exploitée en Afrique de l'Ouest comme bois d'œuvre (Rabiou *et al.,* 2015 ; Segla *et al.,* 2015a et b ; Adjonou *et al*., 2019) et fait l'objet d'un commerce international vers les pays d'Asie, dont la Chine. Objet de nombreux usages à l'échelle locale, *P. erinaceus* offre également toute une gamme de produits non ligneux incluant des aliments pour la consommation humaine, du fourrage pour les animaux (Petit et Mallet, 2001), des produits médicinaux et des matières premières pour l'artisanat (tanins, colorants, sève, résine, etc.).

Actuellement, cette espèce est surexploitée dans son aire de distribution naturelle et devient de plus en plus rare. Elle est menacée de disparition du fait de sa gestion non durable liée au commerce international. En effet, entre 2009 et 2015, le volume des importations chinoises de grumes de *P. erinaceus* provenant d'Afrique de l'Ouest a été multiplié par un facteur 2 000. En 2015, la Chine seule a importé plus de 387 000 m^3 de grumes de *P. erinaceus* en provenance d'Afrique de l'Ouest pour un total d'environ 269 millions de dollars (USD). Le bois de rose fait l'objet d'une importante exploitation illégale. La récente saisie de l'équivalent de 216 millions USD en bois de rose exploité illégalement dans neuf pays d'Afrique de l'Ouest (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Gambie, Ghana, Mali, Mauritanie, Sénégal et Togo) démontre l'ampleur du trafic (Lawson, 2015). En 2015, à l'échelle internationale, le bois de rose a été l'espèce de « bois rouge » la plus commercialisée (en volume) (Lawson, 2015).

Ainsi, les différentes formes de pressions exercées sur *P. erinaceus* dans son aire de répartition ont conduit à son inscription comme « espèce en danger » en 2016, à l'annexe II de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (Cites, 2016). Plus de dix pays ouest-africains ont déclaré l'espèce comme faisant partie des priorités nationales en matière de gestion et de conservation (Eyog Matig et Ouedraogo, 1999). La raréfaction de l'espèce a conduit à interdire son exploitation dans de nombreux pays au cours des dernières années.

Si rien n'est fait, la surexploitation de l'espèce conduisant à sa raréfaction pourrait avoir de graves conséquences sur les forêts sèches d'Afrique de l'Ouest et sur les populations humaines qui en dépendent. Il devient donc urgent de capitaliser les informations scientifiques afin d'accompagner des prises de décision qui garantissent la gestion durable des peuplements naturels et accélèrent la reconstitution des peuplements de *P. erinaceus* en Afrique de l'Ouest. À cet effet, la sélection d'individus de qualité et leur multiplication végétative permettraient la mise en place d'une sylviculture appropriée pour restaurer les peuplements. Il apparaît nécessaire de s'interroger sur les caractéristiques morphologiques des populations de *P. erinaceus* afin d'identifier les individus intéressants en termes de caractéristiques technologiques pour les futurs programmes de sélection et d'amélioration génétique et, ainsi, parvenir à la domestication de l'espèce.

Dans ce contexte, la présente étude vise à apprécier la variation de différentes caractéristiques des peuplements, de la qualité du bois, ainsi que la variation morphologique de *P. erinaceus* dans les différentes régions climatiques (soudanienne, sahélienne et guinéenne) en Afrique de l'Ouest. Plus précisément, concernant les peuplements, le but est d'étudier la variation de différents paramètres relatifs à leur structure, comme la densité, la surface terrière ou encore la hauteur des arbres. Les caractéristiques du bois (propriétés physico-mécaniques) étant liées aux conditions de croissance (nature du sol et paramètres climatiques), le but est alors d'étudier les caractéristiques des fibres (longueur, largeur, etc.) qui expliquent le comportement du bois et le rapport aubier-duramen directement lié

à l'appréciation de la durabilité naturelle et de la couleur du bois. Enfin, le dernier objectif est d'appréhender la variation morphologique au sein de l'espèce à l'aide de l'étude de la taille des feuilles, folioles, fruits et graines.

Matériels et méthodes

Zones d'étude

L'étude a été conduite à deux niveaux : d'une part, à travers les analyses des variables structurales des peuplements et des propriétés technologiques du bois (propriété des fibres et du duramen) et, d'autre part, à travers l'analyse des paramètres morphologiques des arbres. Le premier niveau d'analyse a été mené sur des peuplements de *P. erinaceus* au sein de trois zones climatiques en Afrique de l'Ouest, du Togo au Niger (zone guinéenne, zone soudanienne et zone sahélienne). La zone sahélienne est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm, une température moyenne annuelle de l'ordre de 36,7 °C. Les zones soudanienne et guinéenne sont caractérisées par des précipitations qui varient entre 600 et 1 300 mm/an et 1 000 à 1 600 mm/an respectivement. La température moyenne varie de 26 à 28 °C dans ces deux zones. L'humidité relative moyenne varie de 23 à 85 % et de 70 à 90 % respectivement dans les zones soudanienne et guinéenne. Le deuxième niveau d'analyse a été conduit au Togo dans trois zones climatiques (zone guinéenne, zone soudano-guinéenne et zone soudanienne) (fig. 1).

Collecte des données

Structures des peuplements

Les données pour caractériser les peuplements naturels de *P. erinaceus* ont été obtenues par inventaires forestiers dans les trois zones écologiques de trois pays ciblés (Burkina Faso, Niger et Togo). Les mesures relatives à la structure des peuplements reposent sur la méthode des transects en bande dans la zone soudano-sahélienne et sur la méthode aléatoire dans la zone guinéo-soudanienne. Pour la première méthode, deux transects perpendiculaires nord-sud et ouest-est (longueur de 2 km, largeur d'environ 200 m) ont permis de prendre en compte l'hétérogénéité des formations végétales et d'inventorier suffisamment d'individus pour estimer la densité. La seconde méthode est basée sur l'implantation de 100 parcelles d'observation de 1 000 m² (40 m x 25 m) délimitées de façon aléatoire dans les peuplements à dominance de *P. erinaceus* à intervalles réguliers de 200 m. Dans les deux cas, les données collectées concernent la densité des arbres (nb/ha), la surface terrière (m^2/ha), la hauteur de Lorey (m), le diamètre des arbres à 1,30 m du sol (DBH) supérieur ou égal à 10 cm, la hauteur totale et la hauteur du fût (m). Les mesures de diamètre sont effectuées à l'aide d'un

Figure 1

Localisation des zones d'étude en Afrique de l'Ouest (A) et au Togo (B).

Source : Geographic Coordinate System WGS_1984.

galon forestier, alors que celles concernant les hauteurs totales et celles des fûts sont réalisées à l'aide d'une planche graduée (arbres de hauteur inférieure à 5 m) ou d'un relascope de Bitterlich (arbres de hauteur supérieure à 5 m).

Propriétés technologiques du bois

Les propriétés du bois de *P. erinaceus* ont été analysées à partir de carottes prélevées sur 110 arbres provenant des trois zones climatiques. Ainsi, 50 carottes ont été prélevées dans la zone soudanienne (quinze dans la forêt de Tiogo, quinze dans la forêt de Cassou au Burkina Faso et vingt dans le parc national Oti-Kéran au Togo). Dans la zone sahélienne (réserve de faune de Tamou au Niger), 30 carottes ont été prélevées. Dans la zone guinéenne, 30 carottes ont été prélevées (quinze dans la réserve de faune d'Abdoulaye et quinze dans celle de Togodo). Sur chaque carotte, les âges de l'arbre, du duramen et de l'aubier ont été déterminés par dénombrement des cernes annuels de croissance (Segla *et al.,* 2020). Le rayon total de la carotte (sous écorce), ceux du duramen et de l'aubier ont été mesurés.

Ensuite, la longueur, la largeur, le diamètre des fibres et l'épaisseur de la paroi de la fibre ont été mesurés (50 mesures par carotte). Le but visé est de déterminer la variabilité de ces paramètres selon les zones climatiques, d'une part et, d'autre part, d'étudier l'effet de l'âge cambial sur ces paramètres afin de tirer des conclusions concernant la limite entre le bois juvénile (bois de qualité inférieure formé par des cernes situés à proximité de la moelle) et le bois adulte (bois de qualité supérieure).

Caractéristiques morphologiques

La caractérisation morphologique a été réalisée sur 142 arbres répartis sur cinq sites dans trois zones climatiques du Togo : le parc national Oti-Keran (OK) dans la zone soudanienne (25 arbres), le parc national de Fazao-Malfakassa (FM) dans la zone soudano-guinéenne (30 arbres), la réserve de faune d'Abdoulaye (AB) (30 arbres), le domaine rural du plateau Akposso (AK) (26 arbres) et la réserve de faune de Togodo (TO) (31 arbres) en zone guinéenne. Les mesures ont porté sur les feuilles, les fruits et les graines.

Mesures sur les feuilles

Cinq feuilles récoltées aléatoirement sur chaque arbre pendant la saison des pluies ont fourni une description morphologique concernant la longueur (LF, cm) et la largeur (laF, cm) de la feuille, la longueur du pétiole (LPe, cm) et le nombre de folioles (Nfo). Des mesures complémentaires ont été réalisées sur la foliole terminale, notamment sa longueur (lfoT, mm), sa largeur (lafoT, mm), ainsi que la longueur de son pétiolule (LPfoT, mm). Parmi les individus sélectionnés sur les cinq sites, quatre ont été coupés (trois sur le plateau Akposso et un dans Togodo), le tout faisant un total 690 feuilles mesurées.

Mesures sur les fruits

Trente fruits ont été récoltés sur le houppier des 142 arbres. Ils ont permis de mesurer la longueur (LFr, mm, point d'attache du fruit à la branche jusqu'à l'extrémité du fruit), l'épaisseur (EFr, mm, au niveau du plus grand diamètre du fruit) et le poids des fruits (PFr, mg). Le nombre de graines par fruit (NbG, évalué après décorticage des fruits) a également été comptabilisé. Au total, l'analyse porte sur 4 260 fruits.

Mesures sur les graines

Dix graines saines et non endommagées ont été extraites des fruits de chaque arbre, afin d'en mesurer leur longueur (LG, mm), leur épaisseur (EG, mm) et leur poids (PG, mm). Au total, 1 420 graines ont été mesurées.

Analyses et traitements des données

Au sein de chaque zone climatique, les moyennes et les écarts types des différents paramètres étudiés ont été calculés. Pour analyser la structure des peuplements, les propriétés technologiques du bois, les caractères morphologiques, les différentes variables mesurées ont été comparées à l'aide du test de Tukey. La corrélation entre l'âge des arbres et les propriétés du bois a été aussi analysée.

Enfin, les populations ont été catégorisées en fonction des caractéristiques morphologiques les plus discriminantes en utilisant la méthode de classification numérique suivie d'une analyse en composantes principales (ACP) pour la projection des individus dans les plans factoriels. L'analyse statistique des données a été réalisée au moyen de la version 3.1.2 du logiciel R (R Development Core Team, 2008).

Résultats

Structure des peuplements

La densité moyenne des arbres est comprise entre 1,17 et 74,9 pieds/ha (respectivement dans les zones sahélienne et guinéenne), la zone soudanienne étant intermédiaire. Le diamètre moyen des arbres varie de 22,07 à 49,63 cm (respectivement dans les zones guinéenne et sahélienne), en passant par 29,02 cm dans la zone soudanienne où la variabilité est importante (CV de 53,6 %). En ce qui concerne la surface terrière, les valeurs obtenues varient de 0,30 à 3,15 m²/ha (respectivement dans les zones sahélienne et guinéenne). La densité des arbres par hectare, leur diamètre et la surface terrière varient significativement d'une zone climatique à l'autre (tabl. 1).

Tableau 1
Principales caractéristiques forestières des trois zones climatiques.

Paramètres structuraux		Zones écologiques			Probabilité
		Zone sahélienne	Zone soudanienne	Zone guinéenne	
Densité (N/ha)	moy ± éct	1,17 ± 0,75[a]	35,05 ± 41,2[b]	74,9 ± 1,44[c]	< 0,001
	CV (%)	64,1	117,54	1,92	
Diamètre moyen (cm)	moy ± éct	49,63 ± 19,44[a]	29,02 ± 15,44[b]	22,07 ± 8,98[c]	< 0,001
	CV (%)	39,16	53,2	40,68	
Hauteur moyenne (m)	Moy ± éct	10,18 ± 2,27[a]	9,51 ± 2,75[b]	10,09 ± 2,88[a]	< 0,001
	CV (%)	22,29	28,91	28,54	
Hauteur fût (m)	Moy ± éct	4,08 ± 1,35[a]	3,63 ± 1,49[b]	2,58 ± 2,63[c]	< 0,001
	CV (%)	33,08	41,04	101,93	
Surface terrière (m^2/ha)	Moy ± éct	0,30 ± 0,30[a]	2,46 ± 2,88[b]	3,15 ± 1,30[c]	< 0,001
	CV (%)	100	117,07	41,26	
Hauteur de Lorey (m)	Moyenne	11,34	10,91	11,73	< 0,001

Moy : moyenne, éct : écart type, a : différences non significatives pour ces valeurs.

La hauteur totale moyenne et la hauteur moyenne du fût varient significativement selon les zones climatiques : les arbres des peuplements de la zone soudanienne sont significativement plus petits que ceux des deux autres zones ($p < 0,001$). La hauteur du fût comprise entre 2,58 et 4,08 m varie aussi significativement entre les trois zones (tabl. 2). Pour la hauteur de Lorey, les valeurs obtenues pour les trois zones sont comprises entre 10,91 m (zone sahélienne) et 11,73 m (zone guinéenne) et indiquent une différence significative ($p < 0,001$).

Propriétés technologiques du bois

Fibres du bois

Sur l'ensemble des échantillons, les fibres mesurent 1,027 ± 0,006 mm de long et 0,022 ± 0,001 mm de large ; leur diamètre est de 0,0121 ± 0,002 mm ; l'épaisseur des parois est de 0,005 ± 0,0001 mm. Les résultats indiquent par ailleurs une variabilité faible de ces paramètres, le coefficient de variation restant inférieur ou égal à 8,5 % (tabl. 2). Ces paramètres varient cependant en fonction des zones climatiques ($p < 0,05$, tabl. 2). Les fibres les plus longues et aux parois les plus épaisses s'observent dans la zone sahélienne. Les plus fortes valeurs pour la largeur de fibre et le diamètre du lumen sont observées dans la zone guinéenne. Elles font du bois provenant de cette zone, un bois à fibres moins épaisses avec des diamètres de lumen plus élevés.

Tableau 2
Paramètres des fibres de bois de P. erinaceus en fonction des zones climatiques.

Paramètres des fibres	Tous les échantillons		Zone guinéenne		Zone soudanienne		Zone sahélienne	
	Moyenne (mm)	CV (%)	Moyenne (mm)	CV (%)	Moyenne (mm)	CV (%)	Moyenne (mm)	CV (%)
Longueur des fibres	1,027 ± 0,006	8,5	1,011 ± 0,076[a]	5,8	1,043 ± 0,057[b]	10,8	1,095 ± 0,046[c]	2,4
Largeur des fibres	0,022 ± 0,001	15,4	0,0221 ± 0,0019[a]	6	0,0230 ± 0,0011[b]	6,2	0,0237 ± 0,0005[b]	9,8
Diamètre du lumen	0,012 ± 0,002	6,6	0,0115 ± 0,0006[a]	4,9	0,0113 ± 0,0006[a]	8,6	0,0108 ± 0,0005[b]	4
Épaisseur des parois	0,005 ± 0,001	5,3	0,0050 ± 0,0002[a]	5,4	0,0061 ± 0,0023[b]	4,4	0,0065 ± 0,0002[b]	4

CV : coefficient de variation.

Les valeurs suivies par une même lettre sur une ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Les résultats montrent par ailleurs qu'il n'existe pas de corrélation significative entre l'âge cambial et les paramètres des fibres du bois de *P. erinaceus* ($p > 0,05$ et $0,0003 < R^2 < 0,094$). Cela traduit le fait que les paramètres des fibres du bois de *P. erinaceus* ne sont pas influencés par l'âge cambial.

Duramen

Le pourcentage de duramen varie significativement ($p < 0,001$) en fonction des zones climatiques. La plus forte valeur de pourcentage de duramen est obtenue dans la zone sahélienne (76,82 ± 9,30 %) et la plus faible dans la zone guinéenne (51,28 ± 8,6 %). Dans la zone soudanienne, elle est de 67,83 ± 11,36 %. Ces différences se traduisent par une augmentation du pourcentage de duramen suivant le gradient pluviométrique décroissant nord-sud, c'est-à-dire de la zone à forte pluviométrie (guinéenne qui est significativement différente des autres zones) à celle à faible pluviométrie (soudanienne).

Pour toutes les zones climatiques considérées, les résultats indiquent une tendance significative ($p < 0,05$) à l'augmentation de la proportion de duramen avec l'âge (tabl. 3). Le rythme d'augmentation moyenne annuelle du duramen est plus élevé dans la zone guinéenne (3 %/an). Il est de 2,64 %/an et 2,54 %/an respectivement dans les zones soudanienne et sahélienne.

Caractères morphologiques

Les feuilles

Des différences significatives sont observées pour tous les paramètres foliaires. Pour la longueur de la feuille, les maximas sont mesurés en zone soudano-

Tableau 3
Corrélation entre la proportion de duramen et l'âge.

Zones écologiques	Proportion de duramen (%)	Âge moyen des arbres	Corrélation âge et proportion de duramen (%)	
			R^2	p-value
Zone guinéenne	51,28 ± 8,6	21 ± 1	0,61	< 0,001
Zone soudanienne	67,83 ± 11,36	32 ± 2	0,89	
Zone sahélienne	76,82 ± 9,30	37 ± 3	0,62	

guinéenne (FM) alors que les minimas se situent en zone soudanienne (OK). En zone guinéenne (AB, AK et TO), les longueurs sont intermédiaires. Pour la largeur des feuilles, les plus larges se rencontrent en zone guinéenne (TO), les plus étroites en zone soudanienne (OK), elles sont intermédiaires ailleurs (FM, AB, AK) (tabl. 4).

Les plus longs pétioles s'observent à OK, FM et TO, les plus petits à AB. La population de AK est intermédiaire à toutes les autres. Concernant le nombre de folioles, la seule différence significative ($p < 0,01$) apparaît entre OK (9,30 ± 1,85 folioles) et FM (10,77 ± 1,95 folioles), les autres populations (AB, TO et AK) ne diffèrent pas des deux premières (tabl. 4).

La corrélation positive la plus forte est observée entre la longueur de la feuille et celle du pétiole $R^2 = 0,69$; $p << 0,001$. La variabilité intra-population pour les caractéristiques des feuilles est assez importante sur chacun des sites (coefficients de variation de 20 à 30 %).

Les plus longues folioles terminales se trouvent à TO, FM et AK et les plus petites à OK. Les plus larges proviennent de TO ($p < 0,001$) contrairement à celles de OK qui sont les plus étroites. Les folioles de AK, FM et AB sont semblables entre elles et sont moins larges que celles de TO.

Considérant la longueur du pétiolule, les maximas sont recensés à FM et les plus faibles à AK. Les valeurs à TO, AB et OK sont similaires à celles à AK. Des descripteurs évalués, la largeur de la feuille (p-value laF = $4,3.10^{-8}$) et celle de la foliole terminale (p-value lafoT = $4,07.10^{-10}$) sont les plus discriminantes.

Les fruits

Les fruits de AB sont les plus longs par rapport à ceux de TO et AK qui sont les plus courts ($p = 4,35.10^{-16}$). Avec 10 mm en moins, les individus de FM et OK constituent les minimas (tabl. 4). L'appartenance à un milieu protégé ne semble pas avoir d'influence sur ce paramètre puisque minimas et maximas y sont retrouvés. Concernant l'épaisseur des fruits, les résultats montrent que les fruits provenant de FM sont les plus épais suivis de ceux provenant de OK et de AK. Les fruits de AB et TO sont les moins épais. L'épaisseur des fruits est assez homogène au vu des écarts types et des coefficients de variation sauf à TO où ce coefficient est de 45 %, soit le double des coefficients dans les autres populations.

Tableau 4
Valeurs moyennes des variables foliaires (feuilles et folioles terminales), des fruits et des graines de P. erinaceus par site.

Descripteurs			Zones climatiques					p-value
			Zone soudanienne	Zone guinéo-soudanienne	Zone guinéenne			
			Oti-Kéran (OK)	Fazao-Malfakassa (FM)	Abdoulaye (AB)	Togodo (TO)	Plateau Akposso (AK)	
Feuille	Longueur feuille (LF, cm)	Moy±éct Cv (%)	25,56 ± 5,82b (22,78)	30,25 ± 7,52a (24,88)	27,45 ± 5,05ab (18,4)	29,44 ± 6,51ab (22,14)	28,16 ± 6,55ab (23,29)	< 0,01
	Largeur feuille (laF, cm)	Moy ± éct Cv (%)	10,70 ± 2,06c (26,44)	12,30 ± 2,85bc (29,22)	12,18 ± 2,18bc (24,12)	15,41 ± 3,35a (27,5)	13,59 ± 2,98ab (27,5)	< 0,001
	Longueur pétiole (LPe, cm)	Moy ± éct Cv (%)	4,79 ± 1,13a (23,74)	5,08 ± 1,24a (24,42)	4 ± 0,93b (23,28)	4,66 ± 0,97a (20,95)	4,43 ± 1,22ab (27,61)	0,00
	Nombre folioles (Nfo)	Moy ± éct Cv (%)	9,30 ± 1,85b (19,97)	10,77 ± 1,95a (18,15)	10,2 ± 1,66ab (16,26)	10,29 ± 1,7ab (16,52)	10,23 ± 1,77ab (17,37)	< 0,00
Foliole terminale	Longueur	Moy ± éct Cv (%)	69,5 ± 16,5b	86,9 ± 19,2a	79,9 ± 14,5ab	90,3 ± 22,3a	81,7 ± 0,5a	0,00
	Largeur	Moy ± éct Cv (%)	35,8 ± 9,3c	38,1 ± 9,5bc	38,9 ± 9,4bc	50,3 ± 11,4a	42,7 ± 12,1b	< 0,001
	Longueur pétiolule	Moy ± éct Cv (%)	4,50 ± 1,42b	5,56 ± 1,78a	4,7 ± 0,85b	4,94 ± 1,47ab	4,46 ± 1,23b	< 0,01

	Descripteurs		Zones climatiques					p-value
			Zone soudanienne	Zone guinéo-soudanienne	Zone guinéenne			
			Oti-Kéran (OK)	Fazao-Malfakassa (FM)	Abdoulaye (AB)	Togodo (TO)	Plateau Akposso (AK)	
Fruit	Longueur fruit (LFr, mm)	Moy ± éct Cv (%)	46,47 ± 6,33c (13,64)	48,83 ± 6,92bc (14,17)	58,61 ± 8,35a (14,25)	51,92 ± 7,23b (13,93)	51,41 ± 6,82b (13,27)	< 0,001
	Épaisseur fruit (EFr, mm)	Moy ± éct Cv (%)	5,95 ± 1,44ab (24,2)	6,52 ± 1,48a (22,74)	5,42 ± 1,25bc (23,11)	4,78 ± 2,17c (45,52)	5,62 ± 1,27b (22,58)	< 0,001
	Poids du fruit (PFr, mg)	Moy ± éct Cv (%)	334 ± 100ab (29,89)	359 ± 89ab (25,39)	372 ± 88a (23,71)	305 ± 87b (28,57)	342 ± 85ab (24,99)	< 0,01
	Nombre de graines par fruit (NbG)	Moy ± éct Cv (%)	1,04 ± 0,19d (19,12)	1,16 ± 0,37c (32,36)	1,25 ± 0,44b (35,41)	1,1 ± 0,31cd (28,24)	1,23 ± 1,77ab (36,66)	< 0,001
Graine	Longueur graine (LG, mm)	Moy ± éct Cv (%)	9,29 ± 1,22b (13,13)	9,68 ± 1,06a (10,95)	9,14 ± 1,22b (13,34)	9,31 ± 1,01b (10,84)	8,84 ± 1,26c (14,25)	< 0,001
	Épaisseur graines (EG, mm)	Moy ± éct Cv (%)	2,33 ± 0,57ab (24,26)	2,27 ± 0,62bc (40,66)	2,43 ± 0,6a (24,69)	2,39 ± 0,51ab (21,33)	2,34 ± 0,74ab (31,62)	< 0,01
	Poids graine (PG, mg)	Moy ± éct Cv (%)	73,26 ± 18,72a (24,65)	71,63 ± 24,08ab (33,8)	66,13 ± 22,15c (33,33)	67,99 ± 13,9bc (19,4)	65,84 ± 19,42c (29,23)	< 0,001
	Longueur graine (LG, mm)	Moy ± éct Cv (%)	9,29 ± 1,22b (13,13)	9,68 ± 1,06a (10,95)	9,14 ± 1,22b (13,34)	9,31 ± 1,01b (10,84)	8,84 ± 1,26c (14,25)	< 0,001

Moy : moyenne, éct : écart type, Cv : coefficient de variation en %.
Test de Tukey : les valeurs suivies par une même lettre sur une ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.
Zone soudanienne - OK : parc national Oti-Keran.
Zone guinéo-soudanienne - FM : parc national de Fazao-Malfakassa.
Zone guinéenne - AB : réserve de faune d'Abdoulaye, AK : domaine rural du plateau Akposso, TO : réserve de faune de Togodo.

Concernant le poids des fruits, les plus lourds proviennent de AB (372 ± 88 mg) et les plus légers de TO (4,78 ± 2,17 mg). Les poids des autres provenances sont similaires. Les arbres des cinq sites produisent en moyenne une graine par fruit ; il y a jusqu'à deux graines à OK et trois dans les fruits des autres provenances. Les descripteurs les plus discriminants sont la longueur (p-value LFr = $2{,}2.10^{-16}$) et l'épaisseur du fruit (p-value EFr = $2{,}98.10^{-9}$).

Les graines

Des différences significatives existent entre les graines des cinq provenances (tabl. 4). Les graines les plus longues proviennent de FM et les plus petites de AK. Les graines de OK, AB et TO sont moins longues que celles de FM mais plus que celles de AK. Les longueurs sont très homogènes à l'intérieur de chaque population (Cv < 15 %), mais beaucoup moins pour l'épaisseur et le poids où les coefficients de variation dépassent le seuil de 15 % en moyenne.

Concernant l'épaisseur, AB présente les maximas (2,43 ± 0,6 mm) et FM les minimas (2,27 ± 0,62 mm). Les épaisseurs des graines de OK, TO et AK ne sont pas différentes des deux premières. Les graines des aires protégées OK (73,26 ± 18,72 mg) et FM (71,63 ± 24,08 mg) sont les plus lourdes. Celles de AB, TO et AK en revanche, sont les plus légères.

La longueur (p-value LG = $9{,}85.10^{-14}$) et le poids (p-value PG = $9{,}52.10^{-6}$) des graines sont les plus discriminants.

L'analyse en composantes principales a permis de représenter la position des 142 individus et des six variables quantitatives les plus discriminantes dans le plan des axes 1, 2 et 3 expliquant 79,23 % de l'inertie totale (fig. 2A-2B). Trois groupes sont ainsi distingués (fig. 2C-2D). Le premier axe (33,17 % de l'inertie totale) oppose les individus sur la base des caractéristiques des fruits (épaisseur) et des graines (longueur et poids). Le deuxième axe (29,18 %) indique la répartition des individus en fonction des caractéristiques de la feuille et de la foliole terminale (largeurs). Le troisième axe se détermine en fonction de la longueur du fruit.

La classification numérique et l'ACP font ressortir l'existence de trois morphotypes au Togo (fig. 2) :

– le premier morphotype (groupe 1) est principalement composé d'individus de TO (56,41 %) et AK (25,64%), caractérisés par les feuilles et les folioles terminales larges ;

– le deuxième morphotype (groupe 2) est principalement composé d'arbres provenant de OK (36,11 %) et FM (33,33 %), caractérisés par les fruits les plus larges et les plus courts ; leurs graines sont les plus longues et les plus lourdes ;

– le troisième morphotype (groupe 3), rassemblant 35 % des individus de AB qui possèdent les fruits les plus longs ; leurs feuilles sont un peu plus larges, avec des folioles plus longues que celles du groupe 2 et des graines plus petites et plus légères que celles des groupes 1 et 2.

Figure 2

Projection des variables et des individus sur les plans factoriels (1X2) et (1X3).

A : corrélations des variables pour les axes 1 et 2.
B : répartition des individus dans le plan des axes 1 et 2.
C : corrélations des variables pour les axes 1 et 3.
D : répartition des individus dans le plan des axes 1 et 3.
AB : Abdoulaye, OK : Oti-Kéran, TO : Togodo, FM : Fazao Malfakassa.

Discussion

Structure des peuplements de *P. erinaceus* en Afrique de l'Ouest

Cette étude réalisée sur les peuplements naturels de *P. erinaceus* dans la zone guinéo-soudano-sahélienne a permis de fournir des informations sur les caractéristiques forestières et la structure des populations de cette espèce. Les informations recueillies constituent des indicateurs écologiques essentiels pour

mesurer le niveau d'exploitation, la dynamique et la santé de la ressource, ainsi que les évolutions qualitatives et quantitatives de l'habitat naturel de l'espèce (Oosterhoorn et Kappelle, 2000).

La densité des arbres à l'hectare montre des différences significatives d'une zone climatique à une autre qui s'expliquent par les conditions écologiques très différentes caractérisant chacune de ces zones. Les résultats montrent une très forte diminution de la densité depuis la zone guinéenne vers la zone sahélienne, en relation avec la variation de la pluviométrie qui évolue dans le même sens. Ces observations sont à mettre en relation avec les processus de régénération et de croissance des arbres dépendant fortement des conditions environnementales (Adjonou, 2011). De la même manière, les travaux de Zida (2007), Grace (1999) et de Phillips *et al*. (2014) indiquent que les facteurs influant sur les caractéristiques forestières des arbres incluent les facteurs naturels (pluviosité, hydromorphie, types de sol, le couvert végétal, topographie, etc.). Dans la présente étude, les zones guinéenne et soudanienne semblent présenter des conditions environnementales plus favorables pour le développement des peuplements de *P. erinaceus.* Ces deux zones présentent en effet les valeurs de densité de population les plus élevées. Ce résultat confirme ainsi le fait que *P. erinaceus* est une espèce des savanes africaines et forêts sèches des régions guinéo-soudanaises et soudano-sahéliens. Ces variables écologiques guident généralement la variabilité des caractéristiques biologiques au sein des formations forestières, car les types de structure forestière sont sous la dépendance des gradients de contraintes écologiques et de perturbations (Adjossou, 2009).

Propriétés technologiques du bois et conditions environnementales

Les résultats montrent une variabilité significative des caractéristiques des fibres de bois en fonction des zones climatiques, directement liée aux conditions de croissance des échantillons au sein de ces différentes zones (Traore, 2009). Cette variabilité se traduit par une augmentation de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur des fibres et d'une diminution du diamètre du lumen des fibres suivant le gradient pluviométrique décroissant nord-sud. Les individus issus de la zone guinéenne, plus humide, présentent des fibres courtes à parois minces. Ces résultats s'apparentent à ceux trouvés par les travaux de Leclercq (1983) qui rapporte que l'accélération de la croissance engendre, sur le plan qualitatif, une diminution de la longueur des fibres et une réduction de l'épaisseur de leurs parois. Tsoumis et Panagiotidis (1980) et Nepveu (1994) indiquent également que les sols humides – du moins ceux à zone initiale poreuse et semi-poreuse – induiraient chez les espèces feuillues une accélération de la croissance, ce qui engendre une réduction de la porosité suivie d'une diminution de la longueur des fibres et d'une réduction de l'épaisseur des parois des fibres.

La proportion de duramen diffère significativement d'une zone agroécologique à une autre. Les plus fortes valeurs de proportion de duramen sont obtenues dans la zone sahélienne et les plus faibles valeurs dans la zone guinéenne, la

zone soudanienne étant intermédiaire. Il apparaît donc une tendance d'évolution du duramen en fonction d'un gradient climatique, notamment pluviométrique décroissant (de l'humide à l'aride). Ces résultats concordent avec ceux de Rabhi *et al*. (2014) qui notent une tendance à l'évolution des proportions de duramen du cèdre de l'Atlas en fonction d'un gradient bioclimatique allant du per-humide au semi-aride. Ainsi, selon Pinto *et al*. (2004), les conditions de croissance les plus favorables sont propices à la formation d'un aubier épais. Ceci est confirmé par Climent *et al*. (1993) qui affirment que l'aubier s'avère être davantage lié aux précipitations annuelles, contrairement au duramen. Selon Pliura *et al.* (2006), les effets des sites reflètent la capacité des arbres à combiner à la fois les influences des facteurs édaphiques à l'échelle locale et des facteurs climatiques à l'échelle régionale.

La variabilité de la proportion de duramen en fonction de l'âge de l'arbre montre que ce facteur affecte positivement cette proportion et donc négativement celle de l'aubier, quelle que soit la zone considérée. Ces résultats concordent avec ceux de Rabhi *et al* (2014) sur la proportion d'aubier du cèdre de l'Atlas. De Kort (1993) montre également que les plus vieux arbres de sapin baumier ont le taux le plus faible d'aubier, contrairement aux plus jeunes où la proportion est élevée. L'activité cambiale diminue avec le vieillissement de l'arbre, contrairement à la croissance du duramen, ce qui confirme les résultats de cette étude. Il faut toutefois préciser que si la croissance du duramen augmente avec l'âge de l'arbre, les proportions d'aubier et de duramen dépendent de la vitesse de l'expansion de ce dernier.

Influence du climat sur les caractères morphologiques

L'étude montre une variabilité morphologique prononcée au niveau des feuilles, des fruits et des graines des peuplements du Togo de *P. erinaceus*. Cette variabilité est à mettre en relation avec les facteurs environnementaux (pluviométrie, types de sol, etc.) et correspond à des réponses adaptatives (Brancourt-Hulmel *et al*., 1997 ; Casadebaig, 2008). En effet, la majorité des mesures minimales obtenues pour les feuilles et les fruits ont été collectées dans la zone d'Oti-Kéran (OK), la moins arrosée et la plus chaude de toutes les zones, alors que les mesures maximales s'observent dans les zones à pluviométrie annuelle supérieure ou égale à 1 200 mm. L'effet de l'environnement sur les caractéristiques morphologiques des individus a également été observé sur d'autres espèces, telles que *Detarium microcarpum* (Kouyate, 2005), *Lawsonia inermis* (Aweke et Tapapul, 2005 ; Cartwright-Jones, 2004), *Medicago truncatula* (Hansali *et al.,* 2007) et *Pistacia atlantica* (Belhadj *et al.,* 2008). La quantité d'assimilats produits grâce à la photosynthèse dans les feuilles et nécessaires au développement des organes de production (fruits et graines), aurait été restreinte du fait de la réduction des dimensions des feuilles (Abousalim *et al*., 2005). La réduction de la taille des feuilles, et par conséquent des fruits, serait alors positivement corrélée à l'augmentation de l'aridité du climat (Fahn, 1967).

Implication de *P. erinaceus* pour la sylviculture

La présente étude, à travers la triple analyse de la structure des peuplements, des propriétés technologiques du bois et des variations morphologiques de *P. erinaceus*, apporte des informations complémentaires et indispensables pour développer la sylviculture de l'espèce dans les zones où cela est possible, mais aussi pour maintenir et restaurer les peuplements dans les autres zones climatiques.

En effet, pour une espèce surexploitée et menacée comme *P. erinaceus*, la sélection d'individus performants et leur multiplication végétative au sein de plantations représentent la meilleure option pour favoriser la restauration des formations naturelles dégradées (Segla *et al*., 2015b). La combinaison de tous ces paramètres pour sélectionner des individus performants répond à la stratégie actuelle selon laquelle, en plus des caractères de croissance, de survie et de forme des arbres, l'amélioration génétique des espèces forestières doit inclure les critères de qualité du bois (Li *et al*., 1999). Ces critères peuvent être couplés avec les informations génétiques de l'espèce afin d'optimiser les gains de croissance et de qualité du bois. Dans la présente étude, la variabilité climatique des différents paramètres étudiés, notamment dendrométriques (diamètre), morphologiques (feuilles, graines, et fruits) et technologiques (proportion et rythme d'augmentation de duramen), constitue l'un des éléments à prendre en compte lors de la sélection des individus performants et de leur adaptation à d'autres milieux. Ce résultat traduit le fait que *P. erinaceus* est une espèce qui présente non seulement une plasticité écologique élevée mais également une plasticité phénotypique pour ces paramètres.

Par ailleurs, les résultats montrent une faible corrélation entre l'âge cambial et les paramètres des fibres du bois. Ceci indique que l'âge n'influence pas de manière significative les paramètres des fibres chez *P. erinaceus*. Afin d'utiliser cette espèce en plantation dans les programmes de reboisement, il est important de mieux comprendre les processus de maturation du xylème et de déterminer les limites d'âge entre le bois juvénile et adulte. Chez la plupart des espèces ligneuses, les principaux caractères technologiques du bois sont stables à partir de l'âge adulte qui correspond à la mise en place du bois adulte par le cambium (Kokutse *et al*., 2004). Ces informations sont importantes pour déterminer la période de rotation appropriée pour *P. erinaceus*. Chez certaines espèces, comme *Shorea acuminatissima* et *Eucalytus*, les processus de maturation du xylème dépendent de l'âge cambial (Kojima *et al*., 2009). Au contraire, chez d'autres espèces, comme *Acacia mangium* et *Paraserianthes falcataria*, ils dépendent du diamètre des troncs (Honjo *et al.,* 2005 ; Kojima *et al*., 2009 ; Makino *et al*., 2012). Dans la présente étude, la faible corrélation entre l'âge cambial et les paramètres des fibres semble montrer que ces processus ne dépendent pas de l'âge cambial. Ceci permet d'affirmer que les propriétés du bois des arbres jeunes ne seraient pas inférieures à celles des individus plus âgés. Toutefois, les travaux de Segla *et al*., (2016) indiquent une période de rotation de vingt ans dans les zones soudano-guinéo-sahéliennes afin de permettre une reconstitution durable des peuplements de *P. erinaceus*.

Conclusion et perspectives

Les principales caractéristiques des peuplements naturels de *P. erinaceus* constituent une source d'informations utiles et permettent la définition de meilleures préconisations pour leur gestion. Les caractéristiques dendrométriques, notamment le diamètre moyen, la hauteur totale moyenne et la surface terrière, sont significativement différentes dans les trois zones climatiques considérées. En termes de propriétés technologiques et anatomiques, l'étude met en évidence une variabilité de la proportion de duramen de bois de *P. erinaceus* en fonction des conditions du milieu. L'étude révèle aussi une variabilité des paramètres anatomiques en fonction des zones climatiques, alors que l'âge cambial n'influence pas les paramètres des fibres du bois. Ce travail confirme donc l'absence d'effet de l'âge cambial sur les propriétés physiques et mécaniques du bois. Les peuplements de la zone sahélienne se révèlent plus performants d'un point de vue de leur qualité technologique.

L'évaluation de la variation morphologique des arbres met en évidence une diversité inter-population avec trois morphotypes distincts. Ces critères morphologiques permettent de discerner les morphotypes les plus intéressants pour la mise en place de programmes de sélection et de domestication de *P. erinaceus*. Ainsi, les individus du groupe « Oti-Kéran + Fazao-Malfakassa » et « Abdoulaye » sont ceux qui présentent les meilleures caractéristiques forestières, notamment de longues feuilles et des fruits renfermant de longues et lourdes graines.

En perspective, il est envisagé la sélection d'individus performants destinés à la multiplication végétative sur la base des propriétés technologiques du bois et des caractéristiques morphologiques de *P. erinaceus*. Par ailleurs, l'ADN des arbres sélectionnés pourrait être extrait ; une perspective intéressante serait de faire une analyse GWAS (*genome-wide association study*), afin de déterminer si des traits d'intérêt pourraient être combinés dans des études génétiques, et profiter ainsi de la diversité en complément de la multiplication végétative qui risque de fragiliser les populations.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D), l'Agence universitaire de la francophonie (AUF) et le programme « Appui à la lutte contre le changement climatique » (PALCC) pour le financement de ces travaux de recherche. Ils remercient aussi la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (Cedeao) pour le financement d'une partie de cette recherche dans le cadre de son programme d'appui à la recherche et à l'innovation (Pari). Leurs remerciements vont également à l'unité

de recherche BioWooEB du Centre international de recherche agronomique pour le développement (Cirad) pour son appui matériel et financier et pour l'accueil de monsieur Kossi Novinyo Segla.

Références bibliographiques

Abousalim A., Brhadda N., Loudiyi D. W., 2005
Essais de prolifération et d'enracinement de matériel issu de rajeunissement par bouturage d'oliviers adultes (*Olea europaea* L.) et de germination *in vitro* : effets de cytokinine et d'auxines. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement,* 9 : 237-240.

Adjonou K., 2011
Structure et indicateurs biologiques de gestion durable des reliques de forêts sèches du Togo. Thèse de doctorat, université de Lomé, 185 p.

Adjonou K., Houetchegnon T., Rabiou H., Segla K. N., Abotsi K. E., Johnson B. N., Alaba P., Ouinsavi C. N., Quashie A. M. L., Kokutse A. D., 2019
« Challenges of conservation and sustainable management of African rosewood (*Pterocarpus erinaceus*) in West Africa ». *In* IntechOpen : *Natural resources management and biological sciences*, 29 p.

Adjossou K., 2009
Diversité, structure et dynamique de la végétation dans les fragments de forêts humides du Togo : les enjeux pour la conservation de la biodiversité. Thèse de doctorat, université de Lomé.

Aweke G., Tapapul L. S, 2005
« *Lawsonia inermis* L. ». *In* Jansen P. C. M. et Cardon D. (eds) : *PROTA, Plant resources of tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale*, Wageningen.

Belhadj S., Derridj A., Auda Y., Gers C., Gauquelin T., 2008
Analyse de la variabilité morphologique chez huit populations spontanées de *Pistacia atlantica* en Algérie. *Botany,* 86 : 520-532.

Brancourt-Hulmel M., Biarnès-Dumoulin V., Denis J. B., 1997
Points de repère dans l'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype-milieu en amélioration des plantes. *Agronomie,* 17 219-246.

Cartwright-Jones C., 2004
« The henna page ». *In Encyclopedia of henna.* Document électronique, www hennapage com.

Casadebaig P., 2008
Analyse et modélisation de l'interaction génotype-environnement-conduite de culture : application au tournesol (Helianthus annuus *L.*). Thèse de doctorat, université de Toulouse, 196 p.

Cites, 2016
« Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction ». *In 17e session de la Conférence des Parties, Johannesburg* (Afrique du Sud).

Climent J., Gil L., Pardos J., 1993
Heartwood and sapwood development and its relationship to growth and environment in *Pinus canariensis* Chr. Sm ex D. C. *Forest Ecology and Management,* 59 : 165-174.

Eyog Matig O., Ouédraogo A. S., 1999
State of forest genetic resources in the Sahelian and North-Sudanian zone of Africa. Forest Genetic Resources, FAO, Rome.

Fahn A., 1967
Plant anatomy. Pergamon Press, Oxford, 588 p.

Guilley E., Nepveu G., 2003
Interprétation anatomique des composantes d'un modèle mixte de densité du bois chez le chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) : âge de cerne compté depuis la moelle, largeur de cerne, arbre, variabilité interannuelle et duraminisation. *Ann. For. Sci*, 60 : 331-346.

Grace J. B., 1999
The factors conttrolling species density in herbaceous plant communities: an assessment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2/1 : 1-28.

Hansali M. E., Zinelabidine L. H., Haddioui A., 2007
Variabilité des caractères morphologiques des populations naturelles de *Medicago truncatula* Gaertn. au Maroc. *Acta Botanica Gallica,* 154 : 643-649.

Honjo K., Furukaya I., Sahri M. H., 2005
Radial variation of fiber length increment in *Acacia mangium*. *IAWA Journal,* 26 (3) : 339-352.

De Kort I., 1993
Relationships between sapwood amount, latewood percentage, moisture content and crown vitality of Douglas fir, *Pseudotsuga menziesii*. *IAWA Journal,* 14 : 413-427.

Kojima N. T., Yamamoto H., Yoshida M., Ojio Y., Okumura K., 2009
Maturation property of fast-growing harwood plantation species: a view of fiber length. *Forest Ecology and Management,* 257 : 15-22.

Kokutse A. D., Bailleres H., Stokes A., Kokou K., 2004
Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L. f.). *Forest Ecology and Management,* 189 : 37-48.

Kouyate A. M., 2005
Aspects ethnobotaniques et étude de la variabilité morphologique, biochimique et phénologique de Detarium microcarpum *Guill. et Perr. au Mali*. Thèse de doctorat, universiteit Gent, 207 p.

Lawson S., 2015
« The illegal rosewood boom in West Africa. How Chinese demand is driving conflict, corruption and human rights abuses ». *In Presentation to Chatham house illegal logging stakeholder update meeting, 25th June*, 17 p.

Leclercq P., 1983
Étude de divers cas de stérilité mâle cytoplasmique chez le tournesol. *Agronomie*, 3 (2) : 185-187.

Li P., Beaulieu J., Bousquet J., 1999
Genetic structure and patterns of genetic variation among populations in eastern white spruce (*Picea glauca*). *Can. J. For. Res*., 27 : 189-198.

Makino K., Ishiguri F., Wahyudi I., Takashima Y., Iizuka K., Yokota S., Yoshizawa N., 2012
Wood properties of young *Acacia mangium* trees planted in Indonesia. *Forest products Journal,* 62 (2) : 102-106.

Nepveu G., 1994
« Variabilité ». *In* Jodin P. (éd.) : *Le bois matériau d'ingénierie*. Arbolor, Nancy : 127-199.

Oosterhoorn M., Kappelle M., 2000
Vegetation structure and composition along an interior-edge-exterior gradient in a Costa Rican montane cloud forest. *Forest Ecology and Management,* 126 : 291-307.

Ouedraogo H., 2007
Structure démographique et modes de régénération de Pterocarpus erinaceus *Poir. et autres espèces prioritaires utilisées dans l'artisanat à l'ouest du Burkina Faso*. Mémoire d'ingénieur, université polytechnique de Bobo-Dioulasso (IDR).

Petit S., Mallet B., 2001
L'émondage d'arbres fourragers : détail d'une pratique pastorale. *Bois et forêts des tropiques,* 270 : 35-45.

Phillips R. D., Peakall R., Hutchinson M. F., Linde C. C., Xu T., Dixon K. W., Hopper S. D., 2014
Specialized ecological interactions and plant species rarity: the role of pollinators and mycorrhizal fungi accross multiple spatial scales. *Biological Conservation,* 169 : 285-295.

Pliura A., Zhang Sy., Mackay J., Bousquet J., 2006
Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest Ecology and Management,* 238 : 92-106.

Pinto I., Pereira H., Usenius A., 2004
Heartwood and sapwood development within maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems. *Trees,* 18 : 284-294.

R Development Core Team, 2008
R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. http://www.R-project.org

Rabhi K., Tafer M., Messaoudene M., 2014
Évolution des proportions d'aubier et de duramen du cèdre de l'Atlas, *Cedrus atlantica* Manetti, en Algérie. *Bois et forêts des tropiques,* 322 : 77-87.

Rabiou H., Segla K. N., Adjonou K., Radji A. R., Moussa O., Saley K., Kokutse A. D., Bationo A. B., Mahamane A., Kokou K., 2015
Estimate trees potential and wood cubage in natural stands of *Pterocarpus erinaceus* Poir. based on ecological gradient in West Africa. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* 4 : 1103-1117.

Segla K. N., Kokutse A. D., Adjonou K., Langbour P., Chaix G., Guibal D., Kokou K., 2015a
Caractéristiques biophysiques du bois de *Pterocarpus erinaceus* (Poir.) en zones guinéenne et soudanienne au Togo. *Bois et forêts des tropiques,* 2 : 51-64.

Segla K. N., Adjonou K., Rabiou H., Radji R., Kokutse A. D., Bationo A. B., Mahamane A., Sokpon N., Kokou K., 2015b
Spatial distribution of *Pterocarpus erinaceus* Poir. (Fabaceae) natural stands in the Sudanian and Sudano-Guinean zones of West Africa: gradient distribution and productivity variation across the five ecological zones of Togo. *Annual Research & Review in Biology,* 6 : 89-102.

Segla K. N., Adjonou K., Rabiou H., Mamoudou M.B., Radji A. R., Kokutse A. D., Bationo B. A., Mahamane A., Kokou K., 2016
Stand structures and minimum felling diameter of the *Pterocarpus erinaceus* Poir. in arid and semi-arid habitats of West Africa. *South African Journal of Botany,* 103 : 17-24.

Segla K.N., Ajonou K., Rabiou H., Bationo B. A., Mahamane A., Guibal D., Kokou K., Chaix G., Kokutse A. D., Langbour P., 2020
Relations between the ecological conditions and the properties of Pterocarpus erinaceus *Poir. Wood from the guinean-sudanian and sahelian zones of west Africa*. Holzforschung, https://doi.org/10.1515/hf-2019-0250.

Sylla S. N., Ndoye I., Ba A. T., Neyra M., Gillis M., Giraud E., De Lajudie P., Dreyfus B., 2002
« Diversity of *Rhizobia* isolated from *Pterocarpus erinaceus* (Poir.) and *Pterocarpus lucens* (Lepr.) and nitrogen fixing potential of symbiosis ». *In* Springer (eds) : *Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity* : 629-639.

Traore B., 2009
*Influence de la structure anatomique et des métabolites secondaires sur les propriétés physiques et la qualité acoustique du bois de vène (*Pterocarpus erinaceus *Poir.) provenant du Mali.* Thèse de doctorat, université Laval, Québec. 206 p.

Tsoumis G., Panagiotidis N., 1980
Effect of growth conditions on wood quality characteristics of black pine (*Pinus nigra* Arn.). *Wood Science and Technology*, 14 (4) : 301-310.

Zida D., 2007
Impact of forest management regimes on ligneous regeneration in the Sudanian savanna of Burkina Faso. Thèse de doctorat, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 44 p.

Chapitre 32

Multiplication végétative et domestication du karité au Bénin

Yasminath Judith Follone AVALIGBE
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Paul Césaire GNANGLE
Inrab, Bénin

Aliou SAIDOU
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Introduction

Vitellaria paradoxa C. F. Gaertn. (Sapotaceae), connue sous le nom de karité, est une espèce ligneuse de la zone des savanes guinéennes et soudaniennes. L'aire de répartition du karité s'étend sur près d'un million de kilomètres carrés dans 21 pays subsahariens (NAUGHTON *et al.,* 2015).

Le karité est un arbre à usages multiples. Les feuilles et la pulpe du fruit sont utilisées pour l'alimentation humaine, surtout en période de soudure, et le bois pour le charbon, la confection de meubles et la construction des habitations (LOVETT et HAQ, 2000). Cependant, le principal produit de cet arbre reste son huile, dérivée de ses amandes, très prisée pour des usages médicaux, cosmétiques et alimentaires (BOFFA, 2015).

La demande en noix de karité augmente sans cesse et les prévisions montrent la même tendance (FAOSTAT, 2018). Cependant, cette situation s'accompagne d'une productivité qui diminue en raison de la longue durée nécessaire à la régénération des arbres, de la longue période avant la première fructification et le vieillissement des peuplements existants. Afin d'augmenter la productivité des arbres de karité, des recherches ont été menées sur diverses techniques de multiplication telles que le greffage, le bouturage et la stratification (OKAO *et al.,*

2016). En effet, les systèmes agroforestiers actuels à base de karité sont constitués de plants principalement issus du semis. Cette méthode de multiplication favorise la diversification du patrimoine génétique et entraîne une grande variabilité génétique, du fait du l'allogamie de l'espèce (Hall *et al.,* 1996), ainsi qu'une mise en fruits tardive des arbres (quinze ans selon Boffa, 2015).

Pour faire face à ces contraintes, la multiplication végétative est un moyen pratique pour la production en masse de stocks de régénération de haute qualité. Les premiers essais de multiplication végétative documentés sur le karité ont porté sur le bouturage (Picasso, 1984). Encore peu maîtrisé à l'époque, ses taux de réussite étaient presque nuls. Le principal obstacle au bouturage est le faible niveau d'enracinement des boutures (Boffa, 2015). D'autres travaux entrepris sur le bouturage des tiges de karité avec utilisation de polypropagateurs et de l'acide indole butyrique (AIB) ont donné des résultats très concluants avec des taux d'enracinement des boutures variant entre 40 et 80 % (Opoku-Ameyaw *et al.* 2000 ; Yeboah *et al.,* 2009a ; Yeboah *et al.,* 2009b ; Yeboah *et al*., 2010). Quant au greffage du karité, cette technique consiste à réunir les performances du greffon et les avantages racinaires du porte-greffe. Cette technique de multiplication est réussie quand le contact entre les tissus vasculaires des deux symbiotes est établi (Mokhtari, 2002). Des taux de réussite relativement très élevés (86,1 %) ont été obtenus avec la méthode de greffage en fente latérale sur des sauvageons de karité dans les champs des producteurs au Mali et au Burkina (Sanou *et al*., 2004). Toutefois, l'effet de l'interaction greffon/porte-greffe constitue une limitation à cette technique (Mokhtari, 2002) ainsi que la période de greffage.

Pour répondre à ces insuffisances, la présente étude a été initiée et vise à étudier la multiplication par bouturage et greffage du karité, afin de favoriser dans un futur proche sa domestication. De façon spécifique, il s'agit de (1) étudier l'effet de différents substrats et hormones sur le taux de réussite du bouturage, (2) déterminer la meilleure période de réussite de greffage et (3) comparer les deux techniques de multiplication végétative et proposer la plus performante pour la production rapide de plants vigoureux de karité.

Matériels et méthodes

Matériel végétal

Vitellaria paradoxa est un arbre de la famille des Sapotaceae d'une hauteur moyenne de 7,5 m, pouvant atteindre 12 m ou plus, et un diamètre moyen du tronc de 50 cm (Arbonnier, 2002). Pour la conduite de l'essai de bouturage, les boutures ont été collectées sur des arbres présents dans le parc à karité de Savè au Bénin. Ces boutures présentent en moyenne une longueur de 15 cm. Les boutures récoltées ont été humidifiées et mises dans un sac afin de faciliter le transport jusqu'au lieu de bouturage.

Des sauvageons de karité vigoureux et sains, de diamètre variant entre 0,5 et 2 cm ont été utilisés comme porte-greffe. Les greffons ont été prélevés sur des arbres de karité présentant de bons rendements en noix et une bonne tolérance aux maladies et aux ravageurs.

Les sauvageons ont été collectés et placés dans des pots en pépinière. La collecte de greffons a consisté à couper avec un sécateur désinfecté les feuilles (au niveau des pétioles) de jeunes rameaux dont les bourgeons axillaires étaient sur le point de se former et à laisser le greffon sur l'arbre-mère jusqu'à la formation des bourgeons axillaires. Toutes les précautions ont été prises pour limiter les blessures des greffons lors du prélèvement. Le greffage par placage simple de côté a été ensuite réalisé au cours de deux saisons différentes (pluvieuse et sèche). Les données collectées ont porté sur le diamètre des porte-greffes, la période de débourrement et le taux de réussite du greffage.

Milieu d'étude

Les essais de bouturage et de greffage effectués dans le cadre la présente étude ont été conduits dans deux communes (Parakou et Savè) de la zone cotonnière du Centre-Bénin. La zone cotonnière du Centre-Bénin se caractérise par un climat de type soudano-guinéen avec une tendance vers le type soudano-sahélien. C'est une zone de transition (entre le Sud et le Nord-Bénin) de 16 900 km² qui s'étend après les plateaux d'Abomey et de Kétou jusqu'au 9e parallèle Nord. Cette zone est entièrement occupée par des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou appauvris (Inrab, 1995). On rencontre également des sols noirs et hydromorphes dans les vallées des fleuves et des rivières qui traversent la zone. On y retrouve aussi des sols lessivés plus ou moins concrétionnés, des sols sableux, des sols sablo-argileux et des sols noirs et hydromorphes dans les vallées. La pluviométrie varie de 600 à 1 400 mm répartie sur 80 à 110 jours. Les céréales et les légumineuses y sont largement cultivées. Les peuplements de karité se situent aussi dans cette zone.

Conduite des essais de bouturage

Les essais de bouturage ont été conduits au Centre de recherche agricole (CRA-Centre) de Savè (Bénin). Le dispositif de propagation utilisé pour conduire l'essai mesure 2 m × 1 m × 0,6 m ; il est subdivisé en trois compartiments. Cette caisse en bois a été couverte d'un film polyéthylène transparent d'épaisseur 1 mm afin de maintenir une température, une humidité et une intensité lumineuse modérées favorables à un meilleur développement des boutures. Les boutures utilisées pour la conduite de l'essai ont été collectées dans le parc à karité de Savè. Ces arbres ont été choisis en fonction de leur niveau de productivité, de leur état sanitaire et de la disponibilité de leurs rameaux de l'année lors de l'installation des essais (Asseh *et al.,* 2017). Ces boutures ont été prélevées tôt le matin à l'aide d'un sécateur. Six feuilles ont été retenues sur chaque coupe comme recommandé par Opoku-Ameyaw *et al*. (2000). Les deux hormones de

croissance utilisées sont (1) l'AIB à une concentration de 10 000 ppm utilisée pour accélérer la croissance des boutures et (2) le gel d'*Aloe vera*. Les boutures ont été trempées dans l'hormone sur 5 cm à partir de de la base pendant cinq secondes avant d'être placées dans le propagateur en polyéthylène contenant les substrats d'enracinement. Ces substrats sont constitués de son de riz carbonisé, de bourre de coco et de substrat classique (sol du site de l'essai). Après la plantation, les boutures ont été arrosées au besoin. L'essai a duré 120 jours. Le dispositif expérimental adopté est un split-plot à trois blocs où les substrats ont été affectés aux grandes parcelles et les hormones aux petites parcelles. Au total, l'essai a compté 360 boutures :

3 substrats*2 hormones*2 natures*3 répétitions*10 boutures.

Les observations ont porté sur la période d'apparition des bourgeons et le taux de reprise des boutures.

Conduite des essais de greffage

Le matériel végétal a été constitué de sauvageons de karité vigoureux et sains appartenant à trois classes de diamètres (0,5-1 cm ; 1-1,5 cm et 1,5-2 cm) utilisés comme porte-greffes. Les greffons ont été prélevés sur des arbres à karité présentant de bons rendements en noix et une bonne tolérance aux maladies et aux ravageurs.

L'essai a été mené en utilisant un plan expérimental en blocs complets randomisés avec un schéma factoriel 2A × 3B. Le facteur A représente deux périodes de greffage (saisons sèche et pluvieuse) et le facteur B représente le diamètre des porte-greffes (0,5-1 ; 1-1,5 ; 1,5-2 cm). L'unité expérimentale compte dix plants greffés.

Analyses statistiques

Les données collectées ont été traitées à l'aide du tableur Excel 2013. Pour les variables qualitatives, la statistique descriptive a été réalisée. Afin de déterminer l'effet des facteurs expérimentaux sur la reprise des boutures d'enracinement et la réussite du greffage, les données ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du modèle linéaire généralisé suivant la distribution de Poisson dans le logiciel R 3.6.0. Le seuil de significativité a été de 5 %.

Résultats

Bourgeonnement des boutures en fonction des substrats et de l'hormone

Le tableau 1 présente le taux de reprise des boutures suivant les différents traitements appliqués. Le taux de reprise moyen est de 45 % pour les boutures

végétatives et de 8,8 % pour les boutures florifères. Seule la présence d'*Aloe vera* favorise le bourgeonnement des boutures florifères.

La période d'apparition des bourgeons varie suivant la nature des boutures, l'application d'hormone et le substrat utilisé (fig. 1). Pour l'ensemble, la période d'apparition des bourgeons est plus rapide avec les des boutures végétatives et l'apparition d'un nombre élevé de bourgeons se situe entre le 14e et le 21e jour. Quant aux boutures florifères, l'apparition des bourgeons démarre dès le 14e jour et on note l'apparition d'un nombre élevé de bourgeons entre le 21e et le 28e jour.

Tableau 1
Taux de bourgeonnement des boutures en fonction de l'hormone et du substrat (%).

Traitements*	Taux de reprise des boutures	
	Boutures végétatives bourgeonnées	Boutures florifères bourgeonnées
RizAibVég	66,67	0
RizAibFlor	0	0
RizAloeVég	53,33	0
RizAloeFlor	0	30
CocAibVég	43,33	0
CocAibFlor	0	0
CocAloeVég	33,33	0
CocAloeFlor	0	0
SablAibVég	40	0
SablAibFlor	0	0
SablAloeVég	33,33	0
SablAloeFlor	66,67	23,33
Taux moyen (%)	45	8,89

*Voir le détail des traitements dans la légende de la figure 1.

Survie des boutures : influence de l'hormone et des types de bouture et de substrat utilisés

L'ajustement réalisé sur la survie des boutures sous différents traitements (fig. 2) avec le modèle linéaire généralisé suivant la loi de Poisson montre que le modèle est significatif ($p < 0,001$). Les traitements ont des impacts différents hautement significatifs ($p < 0,001$). Les boutures végétatives installées sur le son de riz carbonisé avec l'application de l'hormone AIB ont une meilleure survie des boutures (5,67 ± 1,53). Ensuite, les boutures végétatives installées sur du riz carbonisé avec l'application de l'hormone *Aloe* et celles installées sur du sable avec l'application de l'hormone AIB présentent une meilleure survie.

Figure 1

Évolution du bourgeonnement des boutures de Vitellaria *paradoxa en fonction du temps.*

RizAibVég : bouture végétative installée sur son de riz carbonisé avec hormone AIB.
RizAibFlor : bouture florifère installée sur son de riz carbonisé avec hormone AIB.
RizAloeVég : bouture végétative installée sur son de riz carbonisé avec hormone *Aloe vera*.
RizAloeFlor : bouture florifère installée sur son de riz carbonisé avec hormone *Aloe vera*.
CocAibVég : bouture végétative installée sur bourre de coco avec hormone AIB.
CocAibFlor : bouture florifère installée sur bourre de coco avec hormone AIB.
CocAloeVeg : bouture végétative installée sur bourre de coco avec hormone *Aloe vera*.
CocAloeFlor : bouture florifère installée sur bourre de coco avec hormone *Aloe vera*.
SablAibVég : bouture végétative installée sur sable avec hormone AIB.
SablAibFlor : bouture florifère installée sur sable avec hormone AIB.
SablAloeVég : bouture végétative installée sur sable avec hormone *Aloe vera*.
SablAloeFlor : bouture florifère installée sur sable avec hormone *Aloe vera*.

Figure 2

Influence des traitements utilisés sur la survie des boutures.

Débourrement des plants greffés en fonction du diamètre du porte-greffe et de la période de greffage

Au cours de l'essai, le taux de reprise végétative moyen est de 65,55 %. Ce taux est de 86,67 % et de 44,44 % respectivement en saisons sèche et pluvieuse (tabl. 2). Les meilleurs taux de reprise sont observés au niveau des porte-greffes de diamètre compris entre 0,5-1 et 1-1,5 cm. La période propice pour le débourrement varie de 21 à 30 jours après greffage (tabl. 3).

Tableau 2
Taux de débourrement des plants greffés suivant les traitements (%).

Traitements*	Taux de plants débourrés	Taux moyen par traitement
Dp_0,5-1	46,67	
Dp_1-1,5	46,67	44,44
Dp_1,5-2	40	
S_0,5-1	90	
S_1-1,5	100	86,67
S_1,5-2	70	

* Dp_0,5-1 : bouture ayant un diamètre compris entre 0,5-1 cm utilisée lors de greffage en saison de pluie.
Dp_1-1,5 : bouture ayant un diamètre compris entre 1-1,5 cm utilisée lors de greffage en saison de pluie.
Dp_1,5-2 : bouture ayant un diamètre compris entre 1,5-2 cm utilisée lors de greffage en saison de pluie.
S_0,5-1 : bouture ayant un diamètre compris entre 0,5-1 cm utilisée lors de greffage en saison sèche.
S_1-1,5 : bouture ayant un diamètre compris entre 1-1,5 cm utilisée lors de greffage en saison sèche.
S_1,5-2 : bouture ayant un diamètre compris entre 1,5-2 cm utilisée lors de greffage en saison sèche.

Effet de la période de greffage et diamètre du porte-greffe sur la réussite du greffage

L'ajustement réalisé sur la reprise des greffons sous différents traitements (fig. 3) avec le modèle linéaire généralisé suivant la loi de Poisson, montre que le modèle est significatif ($p < 0,01$). Les différents traitements présentent une différence hautement significative ($p < 0,01$). Les plants greffés pendant la saison sèche et dont le diamètre du porte-greffe varie entre 0,5-1 et 1-1,5 cm donnent les meilleures reprises.

Discussion

Performance des substrats et des hormones sur les boutures de karité

La période d'apparition des bourgeons varie significativement suivant la nature de la bouture, de l'hormone appliquée et du type de substrat utilisé. Pour cette étude, la période propice à l'apparition des bourgeons se situe entre le 14e et le

Tableau 3
Délai et taux de débourrement des plants suivants les traitements.

Traitements*	Délai d'apparition des bourgeon (jours)	Taux de débourrement (%)
P0,5-1	21	3,34
P0,5-1	28	40
P0,5-1	35	3,34
P1-1,5	21	10
P1-1,5	28	33,34
P1-1,5	35	3,34
P1,5-2	21	6,67
P1,5-2	28	30
P1,5-2	35	3,34
S0,5-1	21	10
S0,5-1	28	83,34
S0,5-1	35	6,67
S1-1,5	21	10
S1-1,5	28	60
S1-1,5	35	0
S1,5-2	21	13,34
S1,5-2	28	80
S1,5-2	35	6,67

* P 0,5-1 : greffage avec porte-greffe de diamètre 0,5-1 cm pendant la saison pluvieuse.
P1-1,5 : greffage avec porte-greffe de diamètre 1-1,5 cm pendant la saison pluvieuse.
P1,5-2 : greffage avec porte-greffe de diamètre 1,5-2 cm pendant la saison pluvieuse.
S0,5-1 greffage avec porte-greffe de diamètre 0,5-1 cm pendant la saison sèche.
S1-1,5 : greffage avec porte-greffe de diamètre 1-1,5 cm pendant la saison sèche.
S1,5-2 : greffage avec porte-greffe de diamètre 1,5-2 cm pendant la saison sèche.

Figure 3
Influence de la période de greffage et du diamètre du porte-greffe sur la reprise des plants greffés.

28e jour. Cette différence de délai de bourgeonnement peut s'expliquer par le fait que les boutures florifères sont fortement lignifiées et renferment peu de réserves nutritives pour assurer la reprise des boutures. Des explications similaires ont été rapportées par Nguema *et al.* (2013). Selon ces auteurs, les boutures âgées ne contiennent pas assez de réserves nutritives pour permettre une éventuelle levée. Cet état de chose compromet la formation et le développement des racines et des pousses dans un premier temps, puis réduit la viabilité des bourgeons en voie de débourrement.

Le taux de reprise végétative moyen est de 45 % pour les boutures végétatives et de 8,8 % pour les boutures florifères. Ces taux, bien que faibles, sont meilleurs que ceux obtenus sur le bouturage d'autres espèces (Agbogan *et al*., 2014). Plusieurs paramètres pourraient expliquer le faible taux de bourgeonnement observé dans notre étude. Dans de nombreux cas, les boutures ne réussissent pas à cicatriser, ce qui ne favorise pas l'enracinement de ces dernières (Asseh *et al.,* 2017). La cicatrisation est en effet une étape clé du bouturage qui est influencée par plusieurs facteurs, dont la balance hormonale entre l'auxine utilisée et les autres hormones végétales comme la cytokinine (Agbogan *et al*., 2014).

Cette étude révèle que le son de riz carbonisé avec l'application de l'acide indole butyrique est le meilleur traitement pour induire l'enracinement des boutures de karité. Le son de riz carbonisé a aussi été identifié par Yeboah (2015) comme étant le meilleur substrat permettant l'enracinement des boutures de karité. Ceci pourrait s'expliquer par la porosité de ce substrat qui permet, de fait, une meilleure aération et donc un bon développement de la radicule, condition préalable de la levée. Les faibles taux de survie sur le substrat en fibres de coco peuvent être dus à sa plus grande capacité de rétention d'eau, ce qui peut provoquer l'étouffement de la bouture (Hussain *et al*., 2014).

L'AIB est l'hormone ayant contribué à une meilleure survie des boutures. L'AIB est reconnue comme une hormone stimulatrice de la croissance (Akakpo *et al*., 2013). Néanmoins, on note une variation de reprise végétative et de survie de boutures avec ce traitement. Tiberti *et al*. (2012) expliquent cela par le fait que ce traitement par l'AIB peut déséquilibrer les régulateurs de croissance présents naturellement dans les plantes et existants dans les bourgeons et les feuilles des boutures, qui, à leur tour, peuvent provoquer des variations de différents paramètres comme l'enracinement et le bourgeonnement. En outre, au cours de l'essai, les boutures végétatives sont les seules qui survivent. Ceci s'explique par l'absence de cellules méristématiques au niveau des boutures florifères (Yeboah, 2015). Les cellules méristématiques sont indispensables à la division cellulaire et donc aux activités physiologiques de la bouture. Nguema *et al*. (2013) notent que le caractère juvénile du matériel utilisé pour le bouturage influence aussi l'enracinement des boutures.

Effet du diamètre du porte-greffe et de la période de greffage sur la réussite du greffage du karité

L'âge du porte-greffe et la saison de la greffe sont des facteurs qui influencent le succès du greffage (Hartmann *et al.,* 2002). Jusqu'à présent, les effets de l'âge du porte-greffe et des saisons de greffe sur le greffage n'avaient jamais été étudiés. Par ailleurs, plusieurs rapports ont montré les effets de ces facteurs sur le greffage de l'anacardier et la mangue (Mahunu *et al*., 2009 ; Mandal *et al.,* 2011). La présente étude montre que les porte-greffes de diamètres compris entre 0,5 et 1,5 cm nécessitent un temps minimum de 28-35 jours après greffage pour une reprise végétative. Ces observations se rapprochent de celles de Yao *et al.* (2019) qui indiquent que le taux de reprise des greffons est de 85 % trente jours après le greffage. Aussi, les jeunes porte-greffes auraient un nombre élevé de cellules méristématiques, ce qui augmenterait la juvénilité des plantes et favoriserait une croissance plus rapide (Kilany *et al*., 2012). Les résultats montrent également que les porte-greffes de faible diamètre présentent un pourcentage plus élevé de réussite de la greffe. Les jeunes porte-greffes ont une activité accrue des cellules méristématiques, ce qui entraîne une formation des callosités et une cicatrisation plus rapides de l'union de la greffe. En général, le faible succès du greffage pourrait être attribué au manque de contact intime entre le greffon nouvellement inséré et le porte-greffe (Hartmann *et al.,* 2002).

Plusieurs études ont montré que les conditions environnementales affectent directement le succès du greffage. La température et l'humidité sont deux facteurs importants qui influencent l'union de greffon et du porte-greffe (Hartmann *et al*., 2002). Dans la présente étude, les résultats obtenus lorsque que le greffage se fait en saison sèche sont meilleurs qu'en saison pluvieuse. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le taux d'union des greffons augmente linéairement entre 5 et 32 °C (Sadhu, 2005). Aussi, le maintien d'une humidité élevée est très important pour empêcher le scion de sécher (Sadhu, 2005). Pendant la saison sèche, il y a plus d'énergie lumineuse pour la photosynthèse et l'accumulation de nutriments, ce qui favorise la formation de l'union des greffons et la croissance des porte-greffes après le greffage comparativement à la saison pluvieuse. Les résultats concordent avec ceux de Islam *et al.* (2004), qui ont indiqué que les meilleurs résultats de greffe de mangue (nombre de jours après reprises de la greffe et pourcentage de survie) sont observés lorsque celle-ci est réalisée en été au Bangladesh. La réalisation de la greffe en période sèche est recommandée pour une bonne réussite du greffage du karité dans la zone cotonnière du centre du Bénin avec des porte-greffes dont le diamètre varie entre 0,5 et 1,5 cm.

Conclusion

Le greffage et le bouturage constituent deux techniques de multiplication végétative prometteuses pour la domestication du karité. Les taux moyens de survie des plants greffés (86,67 %) sont supérieurs à ceux obtenus par bouturage (26,9 %). Le substrat influence considérablement le taux d'enracinement. Le son de riz s'est avéré le meilleur substrat par rapport à celui fait de fibres de coco et de sable. Le taux de survie des boutures est également fonction de l'hormone utilisée et de la nature de la bouture utilisée. La multiplication végétative pourrait être l'option favorable pour la propagation du karité, les graines (noix) étant en concurrence entre l'utilisation par l'homme et la propagation. Les boutures enracinées et les plants greffés doivent évoluer jusqu'à l'obtention d'arbres en production. Les recherches futures pourront être orientées vers le suivi *in situ* de la croissance et de la production des plants issus de la multiplication végétative.

Références bibliographiques

Agbogan A., Bammite D., Tozo K., Akpagana K., 2014
Contribution à la multiplication, par graines et par bouturage de segments de tiges et de racines, de trois fruitiers spontanés de la région des savanes au Togo : *Haematostaphis barteri* hook. F., *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krauss et *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. *European Scientific Journal*, 10 : 195-211.

Akakpo D. B., Amissah N., Yeboah J., Blay E., 2013
Effect of indolebutyric acid and media type on adventitious root formation in sheanut tree (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) stem cuttings. *American Journal of Plant Sciences*, 5 : 313-318.

Arbonnier M. (éd.), 2002
Arbres, arbustes et lianes d'Afrique de l'Ouest. Cirad, MNHN, UICN, Montpellier, 541 p.

Asseh E.E., Ake-Assi E., Koffi K.J., Faustine K.A., 2017
Domestication de *Thunbergia atacorensis* Akoegninou & Lisowski (Acanthaceae) : effet du type de substrat et du mode d'éclairement sur l'aptitude à la reprise végétative des boutures et la croissance des plants. *European Scientific Journal*, 13 : 328-354.

Boffa J-M. (éd.), 2015
Opportunities and challenges in the improvement of the shea (*Vitellaria paradoxa*) resource and its management. *Occasional Paper* 24. World Agroforestry Centre, Nairobi, 76 p.

Faostat, 2018
Base des données de la FAO (2018). hwww.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize (visité le 13 janv. 2020).

Hall J. B., Aebischer D. P., Tomlinson H. F., Osei-Amaining E., Hindl J. R., 1996
Vitellaria paradoxa: a monograph. *School of Agricultural Forest Science*, 8 (2) : 45-51.

Hartmann H. T., Kester D. C., Davies F. T., Geneve R. L. (eds), 2002
Plant propagation and practices (6th edition). Practice Hall International Editions : 239-551.

Hussain I., Marinho A., Adriane Y., Yamamoto L., Koyama R., Ruffo Roberto S., 2014
Indole butyric acid and substrates influence on multiplication of blackberry "Xavante". *Ciência Rural*, 44 (10) : 1761-1765.

Inrab (Institut national des recherches agronomiques du Bénin), 1995
Fiches techniques sur les sols et les essences forestières. Éditions Inrab, Bénin, 68 p.

Islam M. N., Rahim M. A., Farooque A. M., 2004
Standardization of time and grafting techniques in Mango under Bangladesh condition. *Asian Journal of Plant Sciences,* 3 (3) : 378-386.

Kilany O. A., Abd El-Zaher M. H., Hamed H. H., 2012
The relationship between the histological features in the grafting areas and the compatibility degrees of some mango cultivars onto nucellar seedlings. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4 (1) : 58-65.

Lovett P. N., Haq N., 2000
Evidence for anthropic selection of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*). *Agroforestry Systems*, 48 : 273-288.

Mahunu G. K., Adjei P. Y., Asante A. K., 2009
Comparative studies on ages of rootstock seedlings and graft methods in cashew (*Anacardium occidentale* L.). *Ghana Journal of Horticulture*, 7 : 11-17.

Mandal J., Mandal B. K., Singh R. R., Jaiswal U. S., 2011
Effect of age of rootstock, grafting time and varieties on the success of soft wood grafting in mango. *The Asian Journal of Horticulture*, 6 (2) : 412-417.

Mokhtari M., 2002
Le greffage de l'arganier un challenge pour la multiplication clonale. *Bull. de transfert de technologie en agriculture*, 95 : 3-4.

Naughton C. C., Lovett P. N., Mihelcic J. R., 2015
Land suitability modeling of Shea (*Vitellaria paradoxa*) distribution accross sub-Saharan Africa. *Applied Geography*, 58 : 217-227.

Nguema N. P., Bouanga E. B., Massounga Y. C., Boussiengui G., 2013
Étude comparée de trois méthodes de multiplication de *Jatropha curcas* L. dans les conditions climatiques du sud-est du Gabon. *Journal of Applied Biosciences*, 65 : 4989-49.

Okao M., Ogwal L., Mutoni G., Oyuko Alip S., Okullo J., Akais Okia C., 2016
Effet du mode d'application de l'auxine sur l'enracinement et la cassure des bourgeons du karité (*Vitellaria paradoxa*) Boutures. *Journal américain des sciences végétales*, 7 : 2199-2208.

Opoku-Ameyaw K., Amoah F. M., Yeboah J., 2000
Studies into the vegetative propagation on the sheanut. *Journal of the Ghana Science Association*, 4 (2) : 138-145.

Picasso G., 1984
Synthèse des résultats acquis en matière de recherche sur le karité au Burkina Faso de 1950 à 1958. Rapport Cirad-IRHO, 45 p.

Sadhu M. K., 2005
Plant propagation. New Delhi, New Age International : 41-42.

Sanou H., Kambou S., Teklehaimanot Z., Dembélé M., Yossi H., Sina S., Lompo D., Bouvet J.-M., 2004
Vegetative propagation of *Vitellaria paradoxa* by grafting. *Agroforestery Systems*, 60 : 93-99.

Tiberti A. S., Pio R., de Assis C. N., Silva K. N., Tadeu M. H., 2012
Propagação do'Boysenberry'por estaquia e mergulhia. *Ciência Rural*, 42 (3) : 423-428.

Yao S. D. M., Alui K. A., Kouame N. M. T, Ble P. A., Kone B., Diarrassouba N., 2019
Réussir le « greffage en fente simple » et le « greffage de côté dans l'aubier » du karité. *Journal of Applied Biosciences*, 137 : 13961-1397.

Yeboah J., Lowor S. T., Amoah F. M., 2009a
The rooting performance of sheanut (*Vitellaria paradoxa*- C. F. Gaertn.) cuttings leached in water and application of rooting hormone in different media. *Journal of Plant Sciences*, 4 (1) : 10-14.

Yeboah J., Lowor S. T., Amoah F. M., 2009b
The rooting performance of sheanut (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertner) cuttings as influence by wood type sucrose and rooting hormone. *Scientific Research and Essay*, 4 (1) : 521-525.

Yeboah J., Lowor S. T., Amoah F. M., Owusu-Ansah F., 2010
Propagation structures and some factors that affect the rooting performance of sheanut *(Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) cuttings. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 7 (3) : 319-322.

Yeboah J., 2015
*Domestication of the shea tree (*Vitellaria paradoxa *C. F. Gaertn.): developing improved propagation techniques for accelerated plant growth*. PH.D. Thesis. Kwame Nkrumah, 153 p.

Chapitre 33

Valorisation de la biodiversité et implication citoyenne en milieu urbain

Cas du marécage de Fifadji à Cotonou, Bénin

Alfred Houngnon
Agir, Bénin

Ce travail est un hommage à Paul Houngnon (c. 1943-2001), botaniste forestier et premier directeur de l'herbier national du Bénin, dont les travaux non publiés ont directement été utilisés pour la recherche présentée ici.

Introduction

Les zones humides sont décrites à la fois comme les « reins du paysage », pour leurs fonctions dans les cycles hydrologiques et chimiques, et comme des « supermarchés biologiques » compte tenu des grandes chaînes alimentaires qu'elles entretiennent (Barbier, 1993). Elles sont classées parmi les écosystèmes les plus productifs de la Terre, leur procurant ainsi une importance socio-économique et culturelle, mais aussi biologique du fait de leurs nombreuses fonctions (Barbier *et al.,* 1997). La plupart des civilisations humaines et des centres urbains se sont développés autour de zones humides (Cohen, 2006). Les marécages en constituent une part importante (Ramsar Convention, 1996).

Dans la zone côtière ouest-africaine, particulièrement au sud du Bénin, le paysage est caractérisé par des formations marécageuses le long d'un cordon littoral large d'environ 10 km, entre l'océan Atlantique et le Continental terminal. Ces écosystèmes marécageux, sur sable quaternaire ancien, correspondraient aux hauts fonds de la mer après son retrait. Leur formation remonte à 3 000-2 500 ans avant notre ère, durant la dernière période sèche de l'Holocène (Salzmann et Hoelzmann, 2005).

C'est dans cette région côtière que se situe la ville de Cotonou, capitale économique et plus grande métropole béninoise, où se joue depuis le XIXe siècle l'avenir de toute la nation. Cotonou héberge plus de 2,4 millions d'habitants (https://countrymeters.info/fr/Benin), soit 21 % de la population totale du Bénin. Du fait de l'explosion démographique, une grande partie des zones marécageuses de Cotonou a été progressivement occupée par les infrastructures urbaines et les habitations. Le marécage de Fifadji est l'une des dernières zones marécageuses, rares et persistantes reliques qu'il faut maintenir et entretenir comme « poumon vert » de Cotonou. Ce marécage allie l'eau, la biodiversité et les hommes au sein du paysage urbain.

Cependant, la ville de Cotonou, qui n'a cessé de s'étendre, envahit peu à peu cet espace naturel sensible encore très marginalisé dans les programmes de développement urbain. De plus, la prolifération actuelle des impacts des activités humaines (l'insalubrité, la pollution et le comblement), accentuée par les changements climatiques, risque de compromettre la survie de ce dernier refuge de biodiversité urbaine. Le rapport national d'investissement du Bénin (Senou et Medehounou, 2010), mentionne que seulement 9,6 % des terres de bas-fonds sont formellement identifiés et que moins de 1 % environ est aménagé. En effet, le développement urbain au Bénin intègre peu le potentiel naturel de ces marécages qui deviennent, de fait, de plus en plus marginalisés et restreints à ne jouer qu'un rôle de collecteurs des eaux de ruissellement. Par ailleurs, les rares aménagements ne prennent pas en compte l'histoire du milieu, les régimes des eaux, la conservation des espèces et le potentiel écotouristique de ces zones humides. Il devient urgent de sauvegarder et de restaurer ces marécages, derniers refuges de la biodiversité en ville, afin d'éviter leur disparition, l'extinction d'espèces patrimoniales qui en dépendent, ainsi que l'érosion et le rétrécissement du capital génétique d'autres taxons en cours d'adaptation aux zones humides en milieu urbain.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est de recenser la biodiversité inféodée au marécage de Fifadji et de mobiliser les acteurs – chercheurs, citoyens et politiques – pour co-construire des initiatives de préservation et de valorisation écotouristique de ce marécage. Cette phase a permis de définir les bases du développement d'un « poumon vert » attractif et écopédagogique dans une ville où les espaces naturels sensibles à forte potentialité écotouristique sont quasiment inexistants.

Matériels et méthodes

Localisation du site d'étude

Le marécage de Fifadji couvre environ 40 ha d'une zone non constructible (6°23'16.0"N_2°24'16.5"E) au nord de la ville de Cotonou. La figure 1 présente la localisation du site d'étude, au niveau du cordon littoral situé entre l'océan

Atlantique et sa connexion avec le lac Nokoué (85 km²) en communication directe avec la mer grâce au chenal, ou « lagune de Cotonou », creusé par les français en 1894.

Le marécage de Fifadji a pour fonction principale de charrier les eaux pluviales des hauteurs de Cotonou vers le lac Nokoué suivant un azimut de 70°. Le marécage est à la fois un véritable exutoire pour la ville de Cotonou et un écosystème humide dont la biodiversité est importante.

Figure 1
Localisation du marécage de Fifadji.

Caractéristiques de la ville de Cotonou

La ville de Cotonou, avec son statut de commune et de département, est désormais une grande aire urbaine de 79 km², dont la population croît au rythme très élevé de + 4,8 % (Insae, 2016) et qui détient le record de la densité de population la plus élevée du Bénin avec 8 874 hab/km². Elle est subdivisée en 165 quartiers et treize arrondissements. Les 7e et 8e arrondissements sont les plus peuplés, avec respectivement 22 649 hab/km² et 23 572 hab/km² (Houeto, 2013). D'après l'Insae (2016), les branches d'activités dominantes sont le commerce, la restauration, l'hébergement (40,5 %), le transport, la communication et autres services (34,2 %) et les industries manufacturières (14,6 %). Cotonou se situe dans le département qui bénéficie du plus grand nombre d'infrastructures au Bénin, et en particulier d'infrastructures de santé (Insae, 2016).

Avec une altitude de 6 m, Cotonou a un climat de type équatorial avec une alternance de deux saisons pluvieuses et de deux saisons sèches (Insae, 2016) :

– une grande saison des pluies de mi-mars à mi-juillet ;

– une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ;
– une petite saison des pluies de mi-septembre à mi-novembre ;
– une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars.

Les précipitations ont lieu principalement entre mars et juillet avec un pic en juin (300 à 500 mm) ; la moyenne des précipitations est de 1 244 mm par an (https://fr.climate-data.org/afrique/benin-42/). Les températures moyennes mensuelles varient entre 27 et 31 °C, avec une température moyenne annuelle de 26,8 °C. Les écarts de température ne dépassent pas 3,2 °C. Les mois de février à avril sont les plus chauds, avec un pic des températures en mars (température moyenne de 28,5 °C). Ceux de juillet à septembre sont les plus frais (température moyenne de 25,3 °C), août étant le mois le plus froid de l'année.

Collecte des données

Afin de mieux cerner le contexte de l'étude, un travail bibliographique a été initié sur les populations, les ressources naturelles et les enjeux environnementaux notables de la ville de Cotonou. Cette étape a permis de rédiger des messages présentés aux communautés locales pour, *in fine*, co-définir, avec elles, une stratégie d'inventaire de la biodiversité. Une série d'entretiens semi-directifs[1] avec les acteurs locaux a été combinée à des diffusions de messages sur les réseaux sociaux (Facebook, WhatsApp) et des ateliers de partage.

Un état des lieux de la biodiversité, impliquant les élus locaux et les riverains, a ainsi été lancé autour du marécage de Fifadji (fig. 2A et C). Les responsables des institutions administratives et environnementales ont été consultés. Les riverains ont été mobilisés pour la collecte des données (fig. 2B et C).

Un inventaire systématique le long du marais (fig. 2B et C) combiné à des séances d'observation, d'échantillonnage, de description, de capture et de relâche d'animaux, de photographie ont permis de dresser une liste préliminaire de la biodiversité floristique et faunique du marécage de Fifadji. Le guide de la participation (Chevalier *et al.*, 2013) a été mis à contribution pour partager, discuter autour des données d'inventaire puis co-construire l'initiative citoyenne de développement du « Poumon vert attractif du marécage de Fifadji » (Pamfi, https://agirbenin.business.site/ ; https://youtu.be/ArzrNbHqo6o).

1 Ces entretiens ont eu pour objectifs de mobiliser, d'informer et de convier les communautés locales autour de l'initiative. Cette démarche a permis de mobiliser les riverains et citadins de la ville autour des activités éco-citoyennes (main-d'œuvre et intelligence citoyenne) qui ont conduit à la co-construction de l'initiative de développement du « Poumon vert attractif du marécage de Fifadji ». C'est grâce à cette campagne qu'un état des lieux de la biodiversité a pu être réalisé. Les résultats de ces enquêtes ne font pas l'objet de cet article ; ils sont disponibles par ailleurs (cf. Pamfi, https://agirbenin.business.site/ ; https://youtu.be/ArzrNbHqo6o).

Figure 2
Inventaire de la biodiversité du marécage de Fifadji impliquant
A. Les responsables locaux
B. Les citoyens
C. Les riverains.
Source : Agir 2020.

Analyse des données

La liste des espèces végétales ainsi dressée a été comparée aux ressources en ligne du « Catalogue of life » (Hassler, 2020) et de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), et notamment aux notes d'informations botaniques et aux statuts de conservation de ces espèces. Les types biologiques ont été déterminés pour chaque espèce végétale, afin de connaître les formes de vie et la diversité floristique présente (Sauvage, 1966) ainsi que leurs caractéristiques morphologiques (Sirvent, 2020). Les formes de vie ont été établies selon Raunkiaer (1934) et Hutchinson et Dalziel (1954-1972). Les phanérophytes (Ph) sont subdivisés en :

– mégaphanérophytes (meg, > 30 m de hauteur) ;

– mésophanérophytes (mes, 8-30 m) ;

– microphanérophytes (mph, 2-8 m) ;

– nanophanérophytes (nph, 0,5-2 m) ;

– chamaephytes (Ch) ;

– hémicryptophyte (Hc, < 1 m) ;

– thérophytes (Th) ; géophytes (G) (Gb : bulbeux, Gr : rhizomateux, Gt : tuberculeux) ;

– hydrophytes (Hyd) ;
– épiphytes (Ep) ;
– et leurs formes rampantes, les lianes (Lmph, Lnph et Lmes, LGr, LHc).

Les types phytogéographiques sont des variables qui permettent de regrouper les espèces végétales suivant leur répartition géographique. Ces types phytogéographiques sont inspirés des subdivisions chorologiques décrites par Hutchinson et Dalziel (1954-1972) et White (1983), à savoir :

– Les espèces à large distribution :
  - cosmopolites (Cos) : espèces distribuées dans les régions tropicales et tempérées du monde ;
  - pantropicales (Pan) : espèces répandues en Afrique, en Amérique et en Asie tropicales ;
  - paléotropicales (Pal) : espèces répandues en Afrique tropicale, en Asie tropicale, à Madagascar et en Australie ;
  - afro-américaines (AA) : espèces répandues en Afrique et en Amérique tropicale.
– Les espèces plurirégionales africaines :
  - plurirégionales africaines (PRA) : espèces dont l'aire de distribution s'étend à plusieurs centres régionaux d'endémisme ;
  - afro-tropicales (AT) : espèces répandues dans toute l'Afrique tropicale ;
  - afro-malgaches (AM) : espèces distribuées en Afrique et à Madagascar ;
  - soudano-zambéziennes (SZ) : espèces distribuées à la fois dans les centres régionaux d'endémisme soudanien et zambézien ;
  - soudano-guinéennes (SG) : espèces distribuées à la fois dans les centres régionaux d'endémisme soudanien et guinéen ;
  - guinéo-congolaises (GC) : espèces distribuées dans la région guinéenne.

Résultats

Composition floristique

Vingt-neuf espèces végétales appartenant à vingt familles ont été recensées (tabl. 1). Elles comprennent 59 % d'espèces à large distribution, dominées par les pantropicales (28 %), et 41 % d'espèces plurirégionales africaines incluant 21 % espèces du centre régional d'endémisme guinéo-congolais (GC) (fig. 3A).

Les hémicryptophytes (28 %), composés de Poaceae et de Cyperaceae, co-dominent avec les microphanérophytes (28 %) qui sont arborescents. Suivent ensuite les géophytes (14 %), les chamaephytes, et les hydrophytes représentés chacun par trois espèces (fig. 3B). Il s'agit pour la plupart d'espèces d'eau. La rareté des grands arbres est à noter, avec la présence de la seule espèce *Sarcocephalus pobeguinii* (mésophanérophyte, Rubiaceae).

Certaines espèces caractéristiques et communes, comme *Typha australis* (fig. 3C), sont en forte régression dans le marécage de Fifadji. Leurs peuplements sont décimés par les constructions de collecteurs d'eau et d'habitations et le comblement par les déchets ménagers. Dans les peuplements existants, les feuilles âgées s'amoncellent et forment un tapis de chaume au-dessus de la tourbe, réduisant ainsi la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement. C'est aussi le cas de *Phragmites karka* et *Cyperus papyrus* (fig. 3C) qui sont devenues rares. Suivant les critères de l'UICN (tabl. 1), seule l'espèce *Raphia palma-pinus* (Arecaceae) serait menacée mondialement (NT). La majorité des espèces (69 %) rencontrées dans le marécage de Fifadji n'ont pas encore été évaluées selon les critères de l'UICN et 28 % se classent dans la catégorie des « préoccupations mineures ».

On note également l'introduction de certaines plantes exotiques qui affectionnent les zones humides. Il s'agit de *Senna alata* (plante médicinale, ornementale aux fleurs jaune d'or) (fig. 3C), *Saccharum officinarum* (canne à chaume très sucrée), *Musa sapientum* (bananier), *Dysphania ambrosioides* (antibiotique local), *Xanthosoma sagittifolium* (plante ornementale) et *Eichhornia crassipes* (plante ornementale devenue envahissante).

Figure 3
Biodiversité du marécage de Fifadji.

Tableau I
Diversité floristique du marécage de Fifadji, formes de vie, chorologie, statut UICN.

Famille	Nom scientifique (genre et espèce)	Type biologique*	Chorologie**	Statut UICN***
Amaranthaceae	*Dysphania. ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants	Ch	Cos	NE
Araceae	*Pistia stratiotes* L.	Hyd	Pan	LC
	Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott	Gr	AA	NE
Arecaceae	*Raphia* sp.	mph	SG	NT B2b(iv)
Convolvulaceae	*Ipomoea aquatica* Forssk.	Lnph	GC	LC
	Ipomoea asarifolia (Desr.) Roem. & Schult.	Lnph	AA	NE
Cucurbitaceae	*Luffa cylindrica* (L.) M. J. Roem. ; Syn. *L. ægyptiaca* Mill.	Lnph	Pal	NE
Cyperaceae	*Cyperus alternifolius* L.	Hc	GC	NE
	Cyperus articulatus L.	Hc	SG	NE
	Cyperus ligularis (L.) Urb.	Hc	Pan	NE
	Cyperus papyrus L.	Hc	Pan	LC
Dracaenaceae	*Dracaena arborea* (Willd.) Link	mph	GC	NE
Euphorbiaceae	*Alchornea cordifolia* (Schumach. & Thonn.) Müll. Arg.	mph	GC	LC
	Phyllanthus reticulatus Poir.	nph	Pal	NE
Fabaceae/ Caesalpinoideae	*Senna alata* (L.) Roxb.	mph	Pan	LC
Marantaceae	*Thalia geniculata* L.	Gr	AA	LC
Moraceae	*Ficus trichopoda* Baker ; Syn. *F. congensis* Engl.	mph	GC	NE
Musaceae	*Musa sapientum* L.	Gr	Pan	NE
Nympheacea	*Nymphacea lotus* L.	Hyd	Pal	NE
Onagraceae	*Ludwigia stenorraphe* (Brenan) H. Hara	nph	AT	NE
Poaceae	*Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase	Hyd	AM	NE
	Paspalum distichum L.	Hc	Pan	NE
	Phragmites karka (Retz.) Trin. ex Steud.	Hc	Pal	LC
	Saccharum officinarum L.	Hc	Pan	NE
Pontederiaceae	*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms	HcS	Pan	NE
Rubiaceae	*Sarcocephalus pobeguinii* Pobég. ex Pellegr.	mes	SZ	LC

Famille	Nom scientifique (genre et espèce)	Type biologique*	Chorologie**	Statut UICN***
Sphenocleaceae	*Sphenoclea zeylanica* Gaertn.	Ch	AT	NE
Thelypteridaceae	*Cyclosorus interruptus* var. *striatus* (Schumach.) Verdc.	Ch	GC	NE
Typhaceae	*Typha australis* Schum. et Thonn.	Gr	Cos	NE

*Mes : mésophanérophyte (8-30 m), mph : microphanérophyte (2-8 m), nph : nanophanérophyte (0,5-2 m), Ch : chamaephyte, Hc : hémicryptophyte (< 1 m), G : géophyte (Gb : bulbeux, Gr : rhizomateux, Gt : tuberculeux), Hyd : hydrophyte, Ep : épiphyte, L : liane (Lmph, Lnph et Lmes, LGr, LHc).
**Cos : cosmopolite, Pan : pantropicale, Pal : paléotropicales, AA : afro-américaine, AT : afro-tropicale, AM : afro-malgache, SZ : soudano-zambézienne, SG : soudano-guinéenne, GC : guinéo-congolaise.
***NE : non évaluée, LC : préoccupation mineure, NT : quasi menacée.

Composition faunique

La diversité floristique du marécage de Fifadji est associée à une diversité aviaire permanente, composée de poules-d'eau, *Gallinula chloropus meridionalis* (Brehm, CL, 1831), de canards d'eau (*Porphyrio alleni* Thompson, 1842), tourterelles, martins-pêcheurs et de visiteurs comme la petite échasse, le héron pique-bœuf (*Bubulcus ibis* Linnaeus, 1758). Les chéloniens d'eau douce (tortues), batraciens, crabes, varans d'eau et autres reptiles aquatiques (fig. 3D) sont tous des espèces d'un grand intérêt pour l'écotourisme en milieu urbain. Des chats sauvages, localement désignés par les riverains comme *Awiwoo* et *Wooo*, qui pourraient être de différentes espèces selon les recoupements descriptifs, ont été signalés. Ces chats ou félins sauvages indexés par les riverains comme des prédateurs nocturnes des volailles de la basse-cour, n'ont pas été capturés puis identifiés. Cependant, les captures et relâchements effectués ont permis d'identifier deux espèces de crabes (du genre *Cardiosoma*), des crocodiles et une diversité de poissons d'eau douce (tilapia, silure noir, silure blanc, tarpon).

Discussion

Regard sur la diversité floristique

L'écosystème du marécage de Fifadji montre une succession d'espèces adaptées à cette zone humide attestant de son originalité au cœur de la ville de Cotonou. Jusqu'à cette étude, *Sarcocephalus pobeguinii* n'a été observée en abondance que dans la vallée de l'Ouémé, aux latitudes 6°30 et 7°20 Nord. Sa présence à Fifadji peut s'expliquer par le fait que le marécage est relié au lac Nokoué et appartient par extension au complexe « basse vallée de l'Ouémé, lagune de Porto-Novo et lac Nokoué » (Ramsar-Bénin, 2019).

Ipomoea aquatica doit être prise en considération dans la protection écologique du marécage. C'est une liane à tige creuse, spongieuse et flottante, formant un

tapis vert violacé à la surface de l'eau. Elle laisse l'eau s'écouler tout en filtrant les polluants, y compris les métaux lourds (Göthberg *et al*., 2002). Les jeunes pousses et la plante entière servent également d'alimentation pour l'homme ainsi que pour les animaux (fourrage) (Edie et Ho, 1969 ; Grubben et Denton, 2004 ; Austin, 2007 ; Prasad *et al*., 2008).

Phragmites karka (Poaceae atteignant plus de 2 m de hauteur) devrait également être prise en compte car elle intervient dans le traitement biologique des eaux usées et des effluents industriels (Lambertini *et al*., 2006) en plus d'être un bio-indicateur de la fertilité du sol. Elle forme des masses de roseaux dans la vase qui pourraient également servir de substrat de germination pour les graines d'arbres et être utile à la reforestation (Pyšek *et al.,* 2020). Avec *Typha australis*, *Phragmites karka* forme également d'importantes aires d'alimentation et de reproduction pour l'ichtyofaune, les poules-d'eau, les canards d'eau et autres espèces animales.

Du point de vue du statut de conservation, l'espèce emblématique *Cyperus papyrus* pourrait être « en danger » à Cotonou. Selon les critères de l'UICN, elle a été évaluée en Afrique de l'Ouest (Bénin, Ghana, Mali, Niger, Nigeria, Sénégal), comme étant une « préoccupation mineure » avec une probable augmentation des populations actuelles (Juffe, 2010). La même évaluation a été faite par Beentje *et al*. (2018) signalant une population relativement stable au plan mondial. En revanche, dans toute la Méditerranée, l'espèce se révèle « vulnérable » (catégorie B2ab(v)) (IUCN, 2020). *Cyperus papyrus,* très importante pour la fabrication du papier et largement cultivée dans l'Égypte ancienne, a été considérée comme éteinte puis récemment redécouverte et inscrite en Israël sur la liste rouge nationale des espèces « en danger » (Daoud-Bouattour *et al.,* 2010). Le statut de *Cyperus papyrus* est similaire dans le marécage de Fifadji, car seuls quelques rares individus y subsistent en plus de peuplements épars dans d'autres régions du Bénin. Les perturbations du milieu dues aux travaux d'urbanisation continuent de réduire la superficie de ces derniers refuges et compromet la survie d'autres espèces d'intérêt patrimonial.

Cependant au Bénin, aucune mesure ne vise à évaluer la superficie des populations végétales, à comprendre leur dynamique et à définir des stratégies de conservation appropriées face aux contraintes urbaines. D'autres espèces – comme *Thalia geniculata* utilisée localement comme plante médicinale, emballage, épice, ornement et fourrage – sont également considérées « en danger » ayant quasiment disparu à Fifadji.

Impact de la construction des collecteurs d'eau

Les collecteurs d'eau visent essentiellement le drainage des eaux de ruissellement vers la lagune de Cotonou. Leur construction prochaine devrait tenir compte du volume d'eau à évacuer pour éviter l'assèchement du marécage qui constitue, comme nous venons de le voir, un habitat précieux pour des espèces végétales et animales. Les aménagements doivent être bien pensés pour maintenir l'humidité nécessaire à la vie des espèces de plantes flottantes, telles que *Cyclosorus* et *Ipomoea,* et des géophytes (*Typha*, *Thalia*) qui se développent dans la vase. Face

à un drainage sévère, les espèces en peuplement (*Cyclosorus interruptus, Typha australis, Ipomoea aquatica*), les Cyperaceae ainsi que les plantes introduites vont disparaître. Quant aux espèces animales, en dehors des serpents, des canards et des varans, les autres ont besoin d'eau et de vase en permanence pour survivre.

Mobilisation citoyenne pour le développement d'un poumon vert écotouristique

Au Bénin, le tourisme représente 10 % du produit intérieur brut (PIB) et un emploi sur onze. Une mobilisation citoyenne pourrait accélérer le processus de transfert de connaissances entre parties prenantes pour, *in fine*, développer le tourisme responsable autour du marécage de Fifadji. L'effort de participation des citadins dans ce projet est remarquable et met en exergue le regain d'intérêt populaire pour la conservation et la valorisation de leur environnement. Les aménagements retenus visent la restauration d'îlots d'habitats pour les espèces locales stabilisatrices des berges des cours d'eau et des lacs, comme *Phragmites karka*, *Thalia geniculata*, *Typha australis* et les palétuviers (*Rhizophora racemosa, Avicennia germinans*). L'initiative a permis de développer autour du marécage de Fifadji un premier modèle de « poumon vert » attractif, écopédagogique et culturel, dans une ville marquée par l'inexistence de sites attractifs de ce type. Le projet fera de Fifadji, un site de référence pour l'écocitoyenneté et les emplois verts au profit d'une nature qui reprendra ses droits en milieu urbain pour un intérêt partagé.

Conclusion et perspectives

La biodiversité du marécage de Fifadji est une ressource naturelle immédiatement disponible pour faire de Cotonou une ville africaine durable et résiliente. Cette étude de la diversité biologique du marécage a défini les bases d'un diagnostic participatif plus élargi. L'implication et l'enthousiasme des citoyens témoignent de leur désir de gestion de l'environnement et de leur souhait de co-construire un processus de développement inclusif, processus déjà en marche à Fifadji (https://agirbenin.business.site/ ; https://youtu.be/ArzrNbHqo6o).

Remerciements

Ce travail a été réalisé à partir d'équipements subventionnés par la fondation Rufford en 2017. Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à François Romazzotti et au professeur Angel Argiles pour leurs soutiens financiers, ainsi qu'à Marie Pierrette S. Houngbedji, Boubacar Sidibe et Bendecita Atebe Edam pour leurs soutiens techniques.

Références bibliographiques

Austin D. F., 2007
Water spinach (*Ipomoea aquatica*, Convolvulaceae). A food gone wild. *Ethnobotany Research & Applications*, 5 : 123-146.

Barbier E. B., 1993
Valuing tropical wetland benefits: economic methodologies and applications. *Geographical Journal*, Part 1, 59 : 22-32.

Barbier E. B., Acreman M. C., Knowler D., 1997
Évaluation économique des zones humides : guide à l'usage des décideurs et planificateurs. Bureau de la Convention de Ramsar, Gland, 155 p.

Beentje H. J., Lansdown R. V., 2018
Cyperus papyrus. *The IUCN red list of threatened species* 2018. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T164158A120152171.en. Downloaded on 9 Oct. 2020.

Chevalier J. M., Buckles D. J., Bourassa M., 2013
Guide de la recherche-action, la planification et l'évaluation participatives. SAS2 Dialogue, Ottawa, Canada, 155 p.

Cohen B., 2006
Urbanization in developing countries: current trends, future projections and key challenges for sustainability. *Technology in Society*, 28 (1) : 63-80. DOI : 10.1016/j. techsoc.2005.10.005

Daoud-Bouattour A., Gammar-Ghrabi Z., Limam-Ben Saad S., Muller S. D., 2010
Cyperus papyrus. *The IUCN red list of threatened species 2010*.

Edie H. H., Ho B. W. C., 1969
Ipomoea aquatica as a vegetable crop in Hong Kong. *Economic Botany*, 23 (1) : 32-36. DOI : 10.1007/BF02862969

Göthberg A., Greger M., Bengtsson B-E., 2002
Accumulation of heavy metals in water spinach (*Ipomoea aquatica*) cultivated in the Bangkok region, Thailand. *Environmental toxicology and chemistry / SETAC*, 21 (9) : 1934-1939. DOI 10.1002/etc.5620210922

Grubben G. J. H., Denton O. A. (éd.), 2004
Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2. Légumes. Fondation Prota/Backhuys Publishers/CTA, Wageningen/Leiden, 737 p.

Hassler M., 2020
« World plants: synonymic checklists of the vascular plants of the world ». *In* Roskov Y. *et al.* (eds) : *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2020-09-01 Beta*, Leiden. www.catalogueoflife.org/col

Houeto O. F., 2013
Cartographie des forêts sacrées des sites Ramsar 1017 et 1018 du Bénin. Rapport. OIBT, Yokohama, 81 p.

Hutchinson J., Dalziel J. M., 1954-1972
Flora of West Tropical Africa. 2nd ed. Vol. I-III. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London.

Insae, 2016
Institut national de la statistique et de l'analyse économique : cahier des villages et quartiers de ville du département du Littoral. Rapport RGPH-4, Bénin, 20 p.

IUCN, 2020
The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-2. https://www.iucnredlist.org Downloaded on 09 July 2020.

Juffe D., 2010
Cyperus papyrus. *The IUCN Red List of Threatened Species 2010*. Downloaded on 9 October 2020.

Lambertini C., Gustafsson M. H. G., Frydenberg J., Lissner J., Speranza M., Brix H., 2006
A phylogeographic study of the cosmopolitan genus *Phragmites* (Poaceae) based on AFLPs. *Plant Systematics and Evolution,* 258 (3-4) : 161-182.

Prasad N. K., Aradhya S. M., Shivamurthy G. R., 2008
Ipomoea aquatica, an underutilized green leafy vegetable. Review. *International Journal of Botany*, 4 : 93-99.

Pyšek P., Čuda J., Šmilauer P., Skálová H., Chumová Z., Lambertini C., Lučanová M., Ryšavá H., Trávníček P., Šemberová K., Meyerson L., 2020
Competition among native and invasive *Phragmites australis* populations: an experimental test of the effects of invasion status, genome size, and ploidy level. *Ecology and Evolution,* 10 : 1106-1118.

Ramsar-Bénin, 2019
Basse vallée de l'Ouémé, lagune de Porto-Novo, lac Nokoué. Fiche descriptive Ramsar. Bénin, 26 p.

Ramsar Convention, 1996
Strategic plan 1997-2002. Ramsar Convention Bureau, Gland.

Raunkiaer C., 1934
The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, London, 632 p.

Salzmann U., Hoelzmann P., 2005
The Dahomey Gap: an abrupt climatically induced rain forest fragmentation in West Africa during the late Holocene. *The Holocene*, 15 (2) : 1-10.

Sauvage Ch., 1966
Remarques sur la classification des types biologiques. *Bulletin de la Société botanique de France*, 113 (2) : 5-13.
DOI : 10.1080/00378941.1966.10838468.

Senou M., Medehouenou O., 2010
Analyse de l'impact des investissements en infrastructures publiques sur la production agricole au Bénin. Master degree (maîtrise *es* Sciences économiques), université d'Abomey Calavi. www.memoireonline.com/07/12/6069/

Sirvent L., 2020
Les types biologiques : état de l'art, actualisation des définitions et mise en place d'un référentiel. Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles, 64 p.

White F., 1983
The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the Unesco/AETFA/Unso. *Natural Resources Research, Unesco*, 20 : 1-356.

Chapitre 34

Intégration des espèces locales d'intérêt patrimonial dans l'aménagement du paysage urbain au Bénin

Alfred Houngnon
Agir, Bénin

Abdel Aziz Osseni
Université nationale d'Agriculture, Bénin

Introduction

Le Bénin est caractérisé par trois régions biogéographiques : guinéo-congolaise (6°25′-7°30′N), soudano-guinéenne (7°30′-9°30′N) et soudanienne (9°30′-12°N) (Adomou *et al*., 2006). Ce pays est inclus dans le « Dahomey gap », une zone de végétation caractérisée par des ressources naturelles peu abondantes et qui sépare le bastion forestier tropical africain en deux blocs, les blocs guinéen et congolais (Jenik, 1994). La biodiversité végétale de l'ensemble de ces deux blocs est riche de 8 000 espèces végétales avec un taux d'endémisme du centre régional guinéo-congolais qui avoisine 80 % (White, 1983). À l'intérieur de cette zone, le Bénin héberge 2 807 espèces végétales (Akoegninou *et al*., 2006). Sosef *et al*. (2017) annonce 2 460 espèces avec une estimation théorique comprise entre 2 864 et 2 889 espèces. On y retrouve des taxons menacés, rares, ou inféodés à des habitats restreints parfois dotés de belles architectures et avec des structures hiérarchiques bien organisées. Au sein de ce cortège floristique, figurent des familles qui contiennent une fréquence élevée de grands arbres, à savoir les Annonaceae, les Combretaceae, les Ebenaceae, les Fabaceae, les Malvaceae les Moraceae et les Sapotaceae.

Cependant, la diversité végétale indigène du Bénin est quasiment absente et très peu valorisée dans les programmes de conservation et, notamment, dans les essais d'aménagement et d'enrichissement en milieux naturels et urbanisés. La

majorité des essais de plantation, d'aménagement paysager et d'embellissement urbain, se focalise encore sur des espèces exotiques peu adaptées aux contraintes urbaines (enracinement traçant, phénologie, salissure) ainsi qu'aux conditions écologiques (mortalité élevée). Par ailleurs, l'état actuel des ressources végétales montre clairement que la biodiversité végétale et les différents écosystèmes du Bénin régressent au bénéfice des agglomérations, des surfaces cultivées et des jachères (Oloukoï *et al.,* 2007). Jusqu'à présent, aucune stratégie nouvelle n'a été définie pour suivre ou sauvegarder ces espèces végétales déjà reconnues prioritaires pour la conservation alors que la destruction de leurs habitats par différents facteurs, essentiellement d'origine anthropique, s'intensifie. On peut citer, entre autres, la banalisation des habitats naturels qui les abritent conduisant à la fragmentation accentuée des derniers refuges, le drainage des zones humides, le développement anarchique de l'industrie et de l'urbanisation, l'expansion agricole, la propagation d'espèces exotiques envahissantes, les effets combinés des feux de brousse et du surpâturage intense, les changements climatiques, etc.

Plusieurs espèces locales en populations isolées, rares ou dont l'aire de distribution était limitée, et qui existaient dans des biotopes fragilisés, ont déjà disparu en milieu naturel et domestiqué et d'autres sont éteintes à l'état sauvage. C'est le cas de *Chrysobalanus atacoriensis*, signalée par Adjanohoun *et al.* (1989) qui aurait disparu de son habitat dans les localités de Savalou et de Bantè en 1986 suite à des travaux de terrassement, après avoir été observée en 1984. Si bien que de nos jours, la majeure partie de la diversité végétale du Bénin persiste dans des reliques forestières qui ne subsistent dans le paysage que sous forme de forêts refuges, communautaires ou sacrées (Kokou et Sokpon, 2006 ; Adomou *et al.,* 2010). De plus, il s'agit, pour la plupart du temps, des dernières réserves de biodiversité sous forme d'habitats précaires hors des aires protégées, qui sont les espaces les mieux conservés sur le territoire (Adomou *et al.,* 2010). Plusieurs études estiment que ces îlots forestiers au Bénin auraient survécu depuis l'Holocène suite à la longue histoire d'alternance de périodes sèches et humides qui a conduit à la formation du « Dahomey gap » (Van Bruggen, 1989 ; Tossou, 2002 ; Salzmann et Hoelzmann, 2005). Certaines de ces espèces locales pourraient donc être des candidats potentiels à la patrimonialisation, compte tenu de leur longue histoire avec le milieu et les hommes. Face à cette diminution du capital génétique au sein du patrimoine végétal béninois, il devient urgent de proposer une stratégie de conservation qui permette la préservation de la biodiversité végétale de façon durable et en harmonie avec le développement urbain.

L'objectif de notre étude est d'intégrer dans les modèles d'aménagement urbain des villes béninoises voisines de ces réserves naturelles, certaines de ces espèces végétales d'intérêt patrimonial et prioritaires pour la conservation, à savoir celles qui détiennent un potentiel ornemental. À cette fin, nous avons exploré quinze reliques forestières du Bénin pour évaluer le potentiel architectural de quelques plantes d'intérêt patrimonial et élaborer une liste préliminaire de plantes locales qui méritent d'être intégrées dans les programmes d'embellissement paysager urbain au Bénin.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

Cette étude a été conduite en République du Bénin (Afrique de l'Ouest) dans quinze reliques forestières correspondant à un gradient de végétation (fig. 1). Ce gradient est lié à la disponibilité en eau, elle-même fonction de la pluviométrie, de la durée et de l'intensité de la saison sèche et de l'humidité de l'air ; ce gradient explique à 80 % la variation de la composition spécifique d'une forêt à une autre (Adomou, 2005). L'inventaire des espèces a également tenu compte des informations fournies par les communautés qui vivent en périphérie de ces réserves constituées, pour la plupart, de forêts semi-décidues. Comme dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest, le climat auquel sont soumis ces îlots forestiers est principalement déterminé par le cycle annuel de la « zone de convergence tropicale intérieure » avec peu de pluie (moins de 2 000 mm par an). Trois zones climatiques sont distinguées (Adjanohoun *et al.*, 1989 ; Adomou, 2005) :

– la zone Sud, de la côte jusqu'à la latitude 7 °N, dont le climat est guinéen, avec deux saisons des pluies alternées par une sécheresse longue (décembre-février) et courte (juillet-août) dépassant rarement deux mois ;

Figure 1
Localisation des reliques forestières au Bénin.
Source : Poorter *et al.*, 2004 : 482-483.

Tableau I
Liste préliminaire d'espèces végétales d'intérêt patrimonial à intégrer dans le paysage urbain au Bénin.

Nom scientifique	Forme de vie[1]	Chorotypes[2]	UICN[3]	Occurrence	Zone prioritaire d'intégration
Acanthaceae					
Thunbergia atacoriensis	LCh	S	NE	A	Partout
Thunbergia cynanchifolia Benth.	Lmph	GC	CR	O	Partout
Annonaceae					
Artabotrys dahomensis Engl. & Diels	Lnph	GE	NE	C, P	Cotonou, Kétou
Uvariodendron angustifolium (Engl & Diels) R. E. Fr	Nph	GC	NE	P	Kétou, Pobè
Uvariopsis tripetala Bak. f. Syn. *Dennettia tripetala*	Mph	GE	EN	P	Kétou, Pobè
Apiaceae					
Steganotaenia araliacea Hochst. var. *araliace*	mph	SG	NE	B, A	Parakou, Natitingou
Apocynaceae					
Tylophora dahomensis K. Schum.	Lmph	SG	NE	C	Cotonou
Voacanga africana L.	nph	TA	NE	D, B	Parakou, Djougou
Araceae					
Anchomanes difformis (Blume) Engl. (Syn. *Anchomanes welwitschii* Rendle)	Gt	GC	NE		Partout
Arecaceae					
Borassus æthiopum Mart.	mPh	SZ	VU		Partout
Elaeis guineensis Jacq.	mPh	GC	LC		Partout
Raphia sp.	mph	GC	CR		Cotonou, Ouidah

* Espèces végétales restreintes à un seul site.
Localités : A. Atacora, B. Borgou Alibori, C. Côte (Atlantique et Littoral), D. Donga, O. Ouémé, P. Plateau, Z. Zou,
[1] Formes de vie : mégaphanérophyte (meg) (> 30 m de hauteur), mésophanérophyte (mes) (8-30 m), microphanérophyte (mph) (2-8 m), nanophanérophyte (nph) (0,5-2 m), chamaephyte (Ch), hémicryptophyte (Hc), thérophyte (Th), géophyte (G) (Gb : avec bulbe, Gr : avec rhizome et Gt : tuberculeux), épiphyte (Ep), forme grimpante ou liane (L) (Lmph, Lnph Lmes, LGr, LHc).

Histoire	Paramètres architecturaux				
	Aspect des feuille	Phyllotaxie	Ramification	Branche	Enracinement
Sauvage, endémique	Persistante	Simple, distique	Liane	Agéotrope	Indéterminé
Sauvage	Persistante, épaisse	Grande, solitaire	Liane	Agéotrope	Profond
Sauvage	Persistante	Alterne, simple	Liane	Agéotrope	Indéterminé
Sauvage	Persistante	Alterne, simple	Monopodiale	Mixte	Indéterminé
Sauvage	Persistante	Alterne, simple	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Vert clair, composée, odorante	Imparipennée, lancéolée	Verticillée	Plagiotrope	Profond
Sauvage	Fragile	Alterne, simple	Liane	Liane	Indéterminé
Sauvage, surexploité	Vert, persistante	Entière, opposée	Indéterminée	Orthotropes	Indéterminé
Sauvage	Persistante	Simple	Néant	Néant	Néant
Sauvage, surexploité	Persistante, éventail	Long pétiole, touffe terminale	Stipe droit, régulière	Néant	Superficiel
Longue histoire, spontanée, cultivée	Persistante	Composée, pennée	Stipe droit, régulière	Néant	Superficiel
Sauvage	Persistante	Composée, pennée	Stipe droit, régulière	Néant	Superficiel

[2] Chorotypes : guinéo-congolaise (GC), soudanienne (S), soudano-guinéenne (SG), soudano-zambézienne (SZ), Basse Guinée (GE), Haute-Guinée (GO), Afrique tropicale (TA), afro-malgache (AM) et pantropicale (Pan).
[3] Catégories UICN : éteinte (EX), éteinte à l'état sauvage (EW), en danger critique (CR), en danger (EN), vulnérable (VU), préoccupation mineure (LC), données insuffisantes (DD), non évaluée (NE).

[…]

[…]

Nom scientifique	Forme de vie[1]	Chorotypes[2]	UICN[3]	Occurrence	Zone prioritaire d'intégration
Asparagaceae					
Asparagus africanus Lam.	nph	SZ	NE	Z, D, B, A	Partout
Dracaena arborea Bak.	mph	GC	NE	C, P, O, Z, D, B	Partout
Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl	mph	GC	NE	P	Cotonou
Avicenniaceae					
Avicennia germinans L.	mPh	GC	LC	C	Cotonou, Porto-Novo
Chrysobalanaceae					
Chrysobalanus icaco L. subsp. *atacorensis* (A. Chev.) F. White	mPh	SZ	CR	A	Natitingou, Tanguieta, Porga
Chrysobalanus icaco L. subsp. *Icaco*	mph	GC	CR	C	Cotonou, Ouidah, Pahou
Combretaceae					
Pteleopsis suberosa Engl. & Diels.	mph	SZ	NE	Z, D, B, A	Bohicon, Parakou, Djougou
Convolvulaceae					
Ipomoea beninensis Lisowski	LHc	S	EN	A	Partout
Euphorbiaceae					
Mallotus oppositifolius (Geisel.) Müell. Arg.	nph	AM	NE	C, P, Z, D	Cotonou, Porto-Novo
Fabaceae					
Faboideae/Caesalpinoideae					
Bobgunnia madagascariensis Desv. (*Swartzia*)	mph	SZ	NE	D, B, A	Parakou, Djougou, Natitingou
Faboideae/Papilioloideae					
Millettia thonningii (Schum. & Thonn.) Bak.	mph	GC	NE	P, D, Z, B	Partout
Pterocarpus erinaceus Poir.	mPh	S	EN	P, D, B, A	Partout
Pterocarpus santalinoides D. C.	mph	SG		P, O, Z, D, B, A	Porto-Novo, Djougou

* Espèces végétales restreintes à un seul site.
Localités : A. Atacora, B. Borgou Alibori, C. Côte (Atlantique et Littoral), D. Donga, O. Ouémé, P. Plateau, Z. Zou,
[1] Formes de vie : mégaphanérophyte (meg) (> 30 m de hauteur), mésophanérophyte (mes) (8-30 m), microphanérophyte (mph) (2-8 m), nanophanérophyte (nph) (0,5-2 m), chamaephyte (Ch), hémicryptophyte (Hc), thérophyte (Th), géophyte (G) (Gb : avec bulbe, Gr : avec rhizome et Gt : tuberculeux), épiphyte (Ep), forme grimpante ou liane (L) (Lmph, Lnph Lmes, LGr, LHc).

Histoire	Paramètres architecturaux				
	Aspect des feuille	Phyllotaxie	Ramification	Branche	Enracinement
Sauvage	Rigide, aigue	Néant	Rythmique	Orthotropes	Profond
Sauvage	Persistante	Bouquet	Monocaule	Néant	Indéterminé
Sauvage	Persistante	Bouquet	Monocaule	Néant	Indéterminé
Sauvage	Persistante	Simple	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Persistante	Entière, opposée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Persistante	Entière, opposée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Persistante	Alterne, simple, opposée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage, endémique	Persistante	Alterne, simple	Liane	Agéotrope	Profond
Sauvage, surexploité	Persistante	Opposée	Verticillée	Rythmique	Profond
Sauvage	Persistante	Composée, imparipennée, alterne	Indéterminée	Mixte	Profond
Planté	Persistante	Composée, imparipennée, alterne	Sympodiale	Mixte	Profond
Sauvage	Caducifoliée	Composée, imparipennée, alterne	Sympodiale	Mixte	Profond
Sauvage	Persistante, caducifoliée	Composée, imparipennée, alterne	Sympodiale	Mixte	Profond

[2] Chorotypes : guinéo-congolaise (GC), soudanienne (S), soudano-guinéenne (SG), soudano-zambézienne (SZ), Basse Guinée (GE), Haute-Guinée (GO), Afrique tropicale (TA), afro-malgache (AM) et pantropicale (Pan).
[3] Catégories UICN : éteinte (EX), éteinte à l'état sauvage (EW), en danger critique (CR), en danger (EN), vulnérable (VU), préoccupation mineure (LC), données insuffisantes (DD), non évaluée (NE).

[…]

[…]

Nom scientifique	Forme de vie[1]	Chorotypes[2]	UICN[3]	Occurrence	Zone prioritaire d'intégration
Hypericaceae					
Psorospermum febrifugum	mph	SG	NE	D, B, A	Djougou, Parakou
Lamiaceae					
Vitex micrantha Gürke*	mes	GC	CR	P	Kétou, Cotonou, Porto-Novo
Malvaceae					
Bombax buonopozense P. Beauv.	MPh	GC	NE	P	Kétou, Porto-Novo
Ceiba pentandra (L.). Gaertn.	meg	Pan	NE	C, P, O, Z, B	Partout
Cola nitida (Vent.) Schott. & Endl.	mph	GC	EW	C, P, O	Cotonou, Porto-Novo
Hildegardia barteri (Mast.) Kosterm.	mPh	SG		P, O, Z	Partout
Mansonia altissima (A. Chev.) A. Chev.*	mes	GC	CR	P	Partout
Nesogordonia papaverifera (A. Chev.)*	mph	GC	CR	P	Kétou, Porto-Novo
Pterygota macrocarpa K. Schum.*	mph	GC	CR	P	Kétou, Porto-Novo
Triplochiton scleroxylon K. Schum.	meg	GC	EN	P, O, D, Z	Partout
Meliaceae					
Khaya grandifoliola C. D. C.	MPh	GC	EN	O, D	Djougou, Parakou
Moraceae					
Ficus ovata Vahl.	Ep	GC		C, P, O, Z, B	Partout
Ficus trichopoda Baker Syn. *F. congensis* Engl.	mph	GC		C, P, O, D, B, A	Cotonou, Ouidah, Porto-Novo
Milicia exelsa (Welw.) Berg. Syn. *Chlorophora excelsa* (Welw.). Benth.	meg	GC	EN	C, P, O, D, B	Partout
Putranjivaceae					
Drypetes aframensis Hutch.*	mph	GO	CR	P	Kétou

* Espèces végétales restreintes à un seul site.
Localités : A. Atacora, B. Borgou Alibori, C. Côte (Atlantique et Littoral), D. Donga, O. Ouémé, P. Plateau, Z. Zou,
[1] Formes de vie : mégaphanérophyte (meg) (> 30 m de hauteur), mésophanérophyte (mes) (8-30 m), microphanérophyte (mph) (2-8 m), nanophanérophyte (nph) (0,5-2 m), chamaephyte (Ch), hémicryptophyte (Hc), thérophyte (Th), géophyte (G) (Gb : avec bulbe, Gr : avec rhizome et Gt : tuberculeux), épiphyte (Ep), forme grimpante ou liane (L) (Lmph, Lnph Lmes, LGr, LHc).

Histoire	Paramètres architecturaux				
	Aspect des feuille	Phyllotaxie	Ramification	Branche	Enracinement
Sauvage	Persistante, odorante	Opposée, elliptique	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Caducifoliée	Composée, digitée	Indéterminée	Mixte	Traçant
Sauvage, planté	Caducifoliée	Composée, digitée	Rythmique	Plagiotrope	Traçant, échasse
Sauvage, planté	Caducifoliée	Composée, digitée	Rythmique	Plagiotrope	Traçant, échasse
Sauvage	Coriace, caducifoliée	Alterne, entière	Fût droit, indéterminée	Plagiotrope	Traçant, échasse
Sauvage	Verte, persistante	Simple, palmatilobée	Fût droit, indéterminée	Mixte	Traçant, échasse
Sauvage	Persistante, vert éclatant	Simple, palmatilobée	Fût droit, indéterminée	Rythmique	Profond
Sauvage	Persistante	Simple, spirale	Indéterminée	Mixte	Traçant
Sauvage	Persistante	Simple	Indéterminée	Mixte	Traçant
Sauvage	Caducifoliée	Simple, alterne	Fût droit, indéterminée	Rythmique	Profond
Sauvage	Vert, persistante	Composée, alterne, paripennée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Persistante, coriace	Simple, quinconce	Monopodiale	Mixte	Profond
Sauvage	Persistante, coriace	Simple, quinconce	Monopodiale	Mixte	Profond
Sacré	Persistante	Oblongue-elliptique	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Simple, distique	Indéterminée	Mixte	Profond

[2] Chorotypes : guinéo-congolaise (GC), soudanienne (S), soudano-guinéenne (SG), soudano-zambézienne (SZ), Basse Guinée (GE), Haute-Guinée (GO), Afrique tropicale (TA), afro-malgache (AM) et pantropicale (Pan).
[3] Catégories UICN : éteinte (EX), éteinte à l'état sauvage (EW), en danger critique (CR), en danger (EN), vulnérable (VU), préoccupation mineure (LC), données insuffisantes (DD), non évaluée (NE).

[…]

[…]

Nom scientifique	Forme de vie[1]	Chorotypes[2]	UICN[3]	Occurrence	Zone prioritaire d'intégration
Drypetes floribunda (Müll. Arg.) Hutch.	mph	GC		C, P, Z, D	Cotonou, Bohicon
Drypetes gilgiana (Pax) Pax & Hoffm.*	nph	GC	CR	O	Porto-Novo
Rhizophoraceae					
Rhizophora racemosa G. F. W. Mey.	mPh	Pan	EN	C	Cotonou, Ouidah
Rubiaceae					
Sarcocephalus pobeguinii Pobég. ex Pellegr.	mph	TA			Cotonou, Porto-Novo, Ouidah
Rutaceae					
Zanthoxylum gilletii (De Wild.) Waterman	mph	GC	CR	P	Partout
Zanthoxylum leprieurii Guill. & Perr. Syn. *Fagara angolensis* Engl.	mph	GC	NE	P	Partout
Zanthoxylum rubescens Planch. ex Hook. f	mPh	GC		P	Partout
Sapindaceae					
Blighia sapida Koenig	mPh	Pan		C, P, O, Z, D, B, A	Partout
Blighia unijugata Bak.	mph	GC		C, P, O, D, Z, B	Partout
Sapotaceae					
Englerophytum oblanceolatum Syn.*	nph	TA		P	Partout
Synsepalum dulcificum (Schum. & Thonn.) Daniel	mph	GC	EN	C, P, O, Z	Partout
Violaceae					
Rinorea brachypetala (Turcz.) Kuntze	nph	GC	EN	P	Kétou
Rinorea ilicifolia (Welw. ex Oliv.) Kuntze*	nph	GC	CR	P	Kétou
Rinorea kibbiensis Chipp.*	nph	GC	EN	P	Kétou

* Espèces végétales restreintes à un seul site.
Localités : A. Atacora, B. Borgou Alibori, C. Côte (Atlantique et Littoral), D. Donga, O. Ouémé, P. Plateau, Z. Zou,
[1] Formes de vie : mégaphanérophyte (meg) (> 30 m de hauteur), mésophanérophyte (mes) (8-30 m), microphanérophyte (mph) (2-8 m), nanophanérophyte (nph) (0,5-2 m), chamaephyte (Ch), hémicryptophyte (Hc), thérophyte (Th), géophyte (G) (Gb : avec bulbe, Gr : avec rhizome et Gt : tuberculeux), épiphyte (Ep), forme grimpante ou liane (L) (Lmph, Lnph Lmes, LGr, LHc).

Histoire	Paramètres architecturaux				
	Aspect des feuille	Phyllotaxie	Ramification	Branche	Enracinement
Sauvage	Verte, persistante	Simple, distique	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Simple, distique	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage, exploité	Persistante	Opposée	Rythmique	Orthotrope	Échasse
Sauvage	Coriace, persistante	Simple, opposée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Alterne, imparipennée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Alterne, imparipennée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Alterne, imparipennée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sacré	Coriace	Composée, paripennée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Coriace	Composée, paripennée	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Argentée, glabre dessous	Alterne, rassemblée à l'extrémité	Indéterminée	Mixte	Profond
Néant	Verte, persistante	Alterne, elliptique	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Alterne, simple	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Alterne, simple	Indéterminée	Mixte	Profond
Sauvage	Verte, persistante	Alterne, simple	Indéterminée	Mixte	Profond

[2] Chorotypes : guinéo-congolaise (GC), soudanienne (S), soudano-guinéenne (SG), soudano-zambézienne (SZ), Basse Guinée (GE), Haute-Guinée (GO), Afrique tropicale (TA), afro-malgache (AM) et pantropicale (Pan).
[3] Catégories UICN : éteinte (EX), éteinte à l'état sauvage (EW), en danger critique (CR), en danger (EN), vulnérable (VU), préoccupation mineure (LC), données insuffisantes (DD), non évaluée (NE).

– la zone de transition entre les latitudes 7° et 9 °N, dont le climat devient subhumide ou sub-soudanien, avec une saison des pluies et une saison sèche montrant un régime pluviométrique unimodal ;

– la zone Nord, caractérisée par un climat typiquement soudanien, une pluviométrie unimodale, avec une saison pluvieuse de sept mois (en moyenne) qui couvre de façon éparse la période d'avril à octobre avec un optimum vers août-septembre.

La collecte des données

La liste des espèces jugées emblématiques et prioritaires pour l'embellissement du paysage urbain au Bénin a été établie sur la base de la liste rouge du Bénin dressée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (Neuenschwander *et al*., 2011), des caractéristiques architecturales des axes (tiges, branches), des feuilles et des racines ainsi que de leur aptitude à se reproduire facilement, de leurs valeurs culturelles et de leur répartition naturelle. Ces données ont été ensuite complétées par les interactions possibles entre ces plantes et les communautés locales, les formes de vies (Raunkiaer, 1934) et les types phytogéographiques inspirés des subdivisions chorologiques de Hutchinson et Dalziel (1954-1972) et de White (1983).

Les critères de la liste rouge du Bénin ont été déterminants pour cibler certaines espèces locales à valoriser pour verdir les villes au Bénin (tabl. 1). Plusieurs critères ont été combinés : rareté de l'espèce (espèce peu citée sur le territoire, ce qui l'expose à une éventuelle disparition), sa régression (estimée grâce aux différents inventaires et travaux de recherche sur la végétation), menaces directes (facteurs naturels ou anthropiques susceptibles de porter atteinte à l'espèce), endémisme (situation d'isolement ou de perte de contact avec les populations proches). Un taux d'endémisme élevé d'une espèce au niveau national lui confère d'emblée une forte valeur patrimoniale.

Les espèces patrimoniales

Les espèces patrimoniales sont constituées de l'ensemble des espèces protégées, des espèces menacées (liste rouge nationale du Bénin) et des espèces rares confinées dans chacune des forêts reliques, ainsi que (parfois) des espèces ayant un intérêt scientifique ou symbolique. Ce statut, bien que n'étant pas légal, se décline en d'autres critères liés à l'écologie, la démographie et la répartition.

Les paramètres architecturaux

L'architecture des plantes est un outil utilisé pour établir un diagnostic en vue d'une gestion adaptée à différents objectifs (Hallé *et al.,* 1978). Les critères architecturaux utilisés sont :

– la rectitude du fût et la qualité du bois pour les arbres forestiers ;

– la description de la forme, l'esthétique pour les arbres d'ornement et le maintien d'un bon état sanitaire dans un environnement local contraint par l'espace (parcs, alignements urbains, etc.) ;

– la compréhension de la régularité, de la production et de la disposition optimale des fruits dans la frondaison pour les arbres fruitiers.

Les modèles architecturaux qui ont été développés sont basés sur l'expression du programme de développement endogène des plantes (Barthélémy *et al.*, 1989). Ces résultats peuvent être utilisés pour définir le modèle ou la forme du paysage que l'on veut reconstituer dans un type d'aménagement.

Le modèle architectural d'une plante se définit comme la série d'architectures qui se succèdent, dans des conditions écologiques stables et non contraignantes, de sa germination à sa floraison et qui résultent de l'expression de son patrimoine génétique.

Les critères botaniques observées concernent des termes morphologiques définis par Barthélémy et Caraglio (2007 : 376-386). Le tableau 2 présente quelques-uns des critères morphologiques qualitatifs et quantitatifs, ou catégoriels définis par ces auteurs.

Tableau 2
Quelques critères morphologiques qualitatifs et quantitatifs ou catégoriels.

Aspect des feuilles	Persistance, couleur, caducifolié
Phyllotaxie	Opposée, distique, alterne, etc.
Différenciation des axes	Orthotrope, plagiotrope, mixte, agéotrope
Mode de ramification	Monopodiale, verticillée ou radiale, rythmique
Enracinement	Profond, traçant, superficiel

Résultats et discussion

Une liste préliminaire de 56 espèces végétales d'intérêt patrimonial a été établie pour le Bénin (tabl. 1). Cette diversité végétale est confinée à une quinzaine de réserves disséminées sur l'ensemble du territoire sous forme d'îlots forestiers (fig. 1) qui échappent encore au système national de gestion et de protection des aires protégées.

Bien que le taux d'endémisme spécifique soit très faible, dans l'état actuel des connaissances, quelques espèces – comme *Ipomea beninensis*, *Cissus kouandenensis* (Adjanohoun *et al.*, 1989), *Thunbergia atacoriensis* (Akoegninou et Lisowski, 2004 ; Akoegninou *et al.*, 2006) – sont signalées

comme en danger et endémiques aux inselbergs du Bénin et du Togo (Neuenschwander *et al*., 2011 ; Dourma *et al*., 2012 ; Agbani *et al*., 2018). Ces espèces endémiques sont toutes des lianes qui pourraient jouer le rôle de plantes ornementales dans les jardins publics, espaces verts prisés, ruelles et maisons des cités urbaines.

Parmi cette diversité des plantes patrimoniales du Bénin, il existe aussi de nombreuses espèces rares, négligées et méconnues, restreintes à un seul habitat partiellement, ou pas du tout protégé. C'est le cas de certains phanérophytes (arbres) comme *Mansonia altissima* (CR[1]), *Nesogordonia papaverifera* (CR) rencontré au Bénin uniquement au sud-est du microrefuge forestier d'Ewe-Adakplame (relique forestière n° 9 de la fig. 1) (Adomou *et al.,* 2010). *Triplochiton scleroxylon* (fig. 2), communément appelé Samba, Gui oro ou érable d'Afrique (actuellement en danger selon l'UICN, EN[1]) (Adomou *et al*., 2010) et *Ceiba pentandra* encore non évaluée (NE[1]) au niveau national et faisant l'objet d'une préoccupation mineure (LC[1]) à l'échelle mondiale, figurent parmi les phanérophytes qui présentent d'énormes potentialités architecturales. Cette richesse de biodiversité tropicale peut contribuer architecturalement à l'aménagement et à l'embellissement des axes routiers, des avenues et des espaces verts au Bénin (fig. 2 et 3). De plus, le système d'enracinement profond de ces espèces permet d'éviter la destruction des chaussées, comme c'est actuellement le cas avec les Combretaceae exotiques du genre *Terminalia* (*mentaly* et *catappa*). En effet, ces deux espèces, récemment introduites dans l'aménagement urbain au Bénin, ont un système racinaire traçant et superficiel qui déforme la chaussée et un houppier très ombragé et salissant du fait de leur phénologie. Par ailleurs, la rectitude du fût, la persistance des feuilles à travers les saisons et la réitération rythmée des axes secondaires confèrent aux espèces locales retenues une place de choix face aux contraintes d'aménagement en milieu urbain.

À l'inverse de ce 1er groupe d'espèces rares et méconnues, on trouve le palmier à huile (*Eleais guineensis*), une espèce plutôt commune et caractéristique aussi bien des paysages du Sud-Bénin que des galeries forestières, et largement cultivée. Sa sélection dans la liste préliminaire des espèces d'intérêt patrimonial repose, d'une part, sur son histoire avec les hommes et, d'autre part, sur son architecture qui a déjà fait ses preuves au niveau du paysage (fig. 3). En plus de la droiture de son stipe, la régularité de ses branches, le palmier à huile a longuement marqué les pratiques traditionnelles au Bénin suite à l'exploitation des peuplements naturels. Maley (1999) relate une longue histoire d'expansion du palmier à huile en Afrique suite aux perturbations successives du milieu forestier initiées par les changements climatiques et accentuées par l'anthropisation durant les trois derniers millénaires. Au cours de la dernière période de l'Holocène, le palmier à huile est l'une des espèces pionnières qui a marqué les écosystèmes tropicaux (Maley, 2004). En effet, cette espèce a occupé une place

1 Catégories UICN : éteinte (EX), éteinte à l'état sauvage (EW), en danger critique (CR), en danger (EN), vulnérable (VU), quasi menacée (NT), préoccupation mineure (LC), données insuffisantes (DD), non évaluée (NE).

Figure 2

Plaquette de valorisation des espèces rares du Bénin : cas de Triplochiton scleroxylon.

Figure 3

Plaquette de valorisation des espèces symboliques du Bénin : cas de Eleais guineensis.

importante dans une forme primaire d'agroforesterie paysanne et a revêtu – et revêt toujours – un rôle notable culturel et socio-économique au Bénin. En plus de son potentiel architectural (peu encombrant, peu salissant et sans enracinement traçant), le palmier à huile, avec *Borassus æthiopum*, autre espèce présente au Bénin, sont des espèces symboliques qui méritent toute leur place dans l'embellissement du paysage urbain au Bénin.

Il est à noter que ces potentialités architecturales ne sont pas encore valorisées au Bénin. Les modes de reproduction rapide, l'histoire et l'origine de nombres de ces espèces sont peu connues des acteurs clés en charge de mettre en œuvre les politiques d'aménagement urbain, à savoir les paysagistes, les urbanistes et les fleuristes. La valorisation de ces espèces passe par une meilleure diffusion des résultats de recherche, la plupart de ces études restant confinées aux sphères scientifiques, et ce au détriment des utilisateurs finaux et des contribuables-citoyens.

Conclusion et perspectives

La connaissance approfondie des atouts architecturaux des espèces du patrimoine végétal du Bénin et leur meilleure diffusion peut révolutionner la perception des urbanistes, paysagistes et fleuristes locaux. Ceci est nécessaire pour construire une ville africaine écologique et durable qui servira de refuge aux collections vivantes de plantes locales, dont certaines sont silencieusement menacées de disparition dans des endroits peu accessibles et hors contrôle. Nos résultats constituent ainsi une première étape pour fournir du matériel de verdissement des cités avec de belles espèces locales et dans un contexte où la « ville nature », qui n'est plus seulement anthropocentrée, est en harmonie avec la nature.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce aux équipements subventionnés par la fondation Rufford en 2017. Toute ma gratitude à François Romazzotti et au professeur Angel Argiles pour leur soutien financier, et à Marie Pierrette S. Houngbedji, Boubacar Sidibe et Bendecita Atebe Edam pour leurs soutiens techniques.

Références bibliographiques

Adjanohoun E., Adjakidje V., Ahyi M. R. A., Ake Assi L., Akoegninou A., D'almeida J., Apovo F., Boukef K., Chadare F., Cusset G., Dramane K., Eyme J., Gassita J.-N., Gbaguidi N., Goudote E., Guinko S., Houngnon P., Issa L., Keita A., Kiniffo H. V., Kone Bamba D., Musampa N., Seyya A., Saadou N., Sodogandji T., De Souza S., Tchabi A., Zinsou Dossa C., Zohoun T. H., 1989
Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République populaire du Bénin. ACCT, Paris, 895 p.

Adomou A. C., 2005
Vegetation patterns and environmental gradient in Benin: implications for biogeography and conservation. Ph.D. Thesis. Wageningen University, Wageningen, 150 p.

Adomou A. C., Sinsin B., Van Der Maesen J. L. G., 2006
Phytosociological and chorological approaches to phytogeography: a meso-scale study in Benin. *Systematics and Geography of Plants,* 76 : 155-178.

Adomou A. C., Sinsin B., Akoégninou A., Van Der Maesen J. L. G., 2010
« Plant species and ecosystems with high conservation priority in Benin ». *In* Van Der Burgt X. *et al.* (eds) : *Systematics and conservation of African plants.* Royal Botanic Gardens, Kew : 429-444.

Agbani P. O., Kafoutchoni K. M., Salako K. V., Gbedomon R. C., Kégbé A. M., Karen H., Sinsin B., 2018
Traditional ecological knowledge-based assessment of threatened woody species and their potential substitutes in the Atakora mountain chain, a threatened hotspot of biodiversity in Northwestern Benin, West Africa. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine,* 14 : 1-21. https://doi.org/10.1186/s13002-018-0219-6

Akoegninou A., Lisowski S., 2004
Un *Ipomoea* (Convolvulaceae) nouveau et un *Thunbergia* (Acanthaceae) nouveau du Bénin. *Notulae Florae Beninensis 2. Syst. Geogr. Pl.,* 74 : 337-345.

Akoegninou A., Van Der Burg W. J., Van Der Maesen L. J. G., Adjakidjè V., Essou J. P., Sinsin B., Yédomonhan H., 2006
Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers, Wageningen, 1 034 p.

Barthélémy D., Caraglio Y., 2007
Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany*, 99 : 375-407.

Barthélémy D., Edelin C., Hallé F., 1989
« Architectural concepts for tropical trees ». *In* Holm-Nielsen L. B., Baslev H. (eds) : *Tropical forests: botanical dynamics, speciation and diversity*, Academic Press, London : 89-100.

Dourma M., Batawila K., Guelly K. A., Bellefontaine R., Foucault B., Akpagana K., 2012
La flore des forêts claires à *Isoberlinia* spp. en zone soudanienne au Togo. *Acta Botanica Gallica,* 159 : 395-409.

Hallé F., Oldeman R. A. A., Tomlinson P. B., 1978
Tropical trees and forests: an architectural analysis. Springer-Verlag, Berlin, 441 p. https://doi.org/10.1002/fedr.19820931018

Hutchinson J., Dalziel J. M., 1954-1972
Flora of West Tropical Africa. 2nd ed. Vol. I-III. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London.

Jenik J., 1994
The Dahomey gap: an important issue in African phytogeography. *Mémoire Société Biogéographie,* 4 (3) : 125-133.

Kokou K., Sokpon N., 2006
Les forêts sacrées du couloir du Dahomey. *Bois et forêts des tropiques,* 288 : 15-23.

Maley J., 1999
« L'expansion du palmier à huile (*Elaeis guineensis*) en Afrique centrale au cours des trois derniers millénaires : nouvelles données et interprétations ». *In* Bahuchet S. *et al.* (éd.) : *L'homme et la forêt tropicale*, Bergier Éditions, Châteauneuf-de-Grasse, Travaux de la Société d'écologie humaine : 237-254.

Maley J., 2004
« Les variations de la végétation et des paléo-environnements du domaine forestier africain au cours du Quaternaire récent ». *In* Renault-Miskovsky J., Semah A. M. (éd) : *L'évolution de la végétation depuis deux millions d'années*, Artcom-Errance, Paris : 143-178.

Neuenschwander P, Sinsin B., Goergen G., 2011
Protection de la nature en Afrique de l'Ouest : une liste rouge pour le Bénin. Nature Conservation in West Africa: red list for Benin. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, 365 p.

Oloukoï J., Mama V. J., Agbo F. B., 2007
Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des Collines au Bénin. *Télédétection,* 6 : 305-323.

Poorter L., Bongers F., Kouamé F. N., Hawthorne W. D., 2004
Biodiversity of West African forests: an ecological atlas of woody plants species. CABI Publishing, Cambridge, 521 p.

Raunkiaer C., 1934
The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon Press, London, 632 p.

Salzmann U., Hoelzmann P., 2005
The Dahomey Gap: an abrupt climatically induced rain forest fragmentation in West Africa during the late Holocene. *The Holocene*, 15 (2) : 1-10.

Sosef M. S. M., Dauby G., Blach-Overgaard A., Van Der Burgt X., Catarino L., Damen T., Deblauwe V., Dessein S., Dransfield J., Droissart V., Duarte M. C., Engledow H., Fadeur G., Figueira R., Gereau R. E., Hardy O. J., Harris D. J., De Heij J., Janssens S., Klomberg Y., Ley A. C., Mackinder B. A., Meerts P., Van De Poel J. L., Sonke B., Stévart T., Stoffelen P., Svenning J.-C., Sepulchre P., Zaiss R., Wieringa J. J., Couvreur T. L. P., 2017
Exploring the floristic diversity of tropical Africa. *BMC Biology*, 15 (1) : 15. DOI : https://doi.org/10.1186/s12915-017-0356-8.

Tossou M. G., 2002
Recherche palynologique sur la végétation Holocène du Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat, université de Lomé, 136 p.

Van Bruggen A. C., 1989
The Dahomey Gap as evidenced by land molluscs, a preliminary report resulting from a reconnaissance of literature. *Basteria,* 53 : 97-104.

White F., 1983
The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the Unesco/AETFA/Unso. *Natural Resources Research*, 20 : 1-356.

Chapitre 35

Agrobiodiversité et transition agroécologique

Regards croisés de chercheurs et paysans

Aby Cissé
Université Gaston Berger, Isra, Sénégal
IRD, France

Cécile Berthouly-Salazar
IRD, France

Saidou N. Sall
Université Gaston Berger, Sénégal

Delphine Renard
CNRS, France

Cathy Clermont-Dauphin
IRD, France

Alihou Ndiaye
ASPSP, Sénégal

Adeline Barnaud
IRD, France

Ndjido Ardo Kane
Isra, Sénégal

Introduction

Garantir la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations face aux changements globaux (anthropiques et climatiques) est l'un des plus grands défis des années à venir (Lobell *et al.,* 2011 ; Challinor *et al.,* 2014). En Afrique subsaharienne, les systèmes agricoles dominés par les cultures pluviales seront particulièrement impactés par les changements climatiques déjà en cours (Turco *et al.,* 2015 ; Faye *et al.,* 2018 ; Dieng *et al.,* 2018 ; Sultan *et al.,* 2019). Les événements extrêmes, comme les vagues de chaleur et les fortes pluies, devraient s'intensifier dans le futur (Rowell, 2006 ; Taylor *et al.,* 2013 ; Sylla *et al.,* 2015) avec des conséquences majeures sur l'agriculture et les sociétés. Face à ces enjeux, de multiples stratégies d'adaptation ont été proposées pour maintenir la production agricole et sa durabilité. Les stratégies agricoles dites « conventionnelles » visent à développer des innovations technologiques performantes en réponse à un, voire deux facteurs limitants – variété résistante à la sécheresse, à un pathogène, utilisation accrue d'engrais et de systèmes d'irrigation –, partant du principe que

le même facteur limitant se retrouve d'année en année. Cependant, dans un contexte où les contraintes environnementales sont multiples et d'intensité variable dans le temps, le potentiel de telles solutions technologiques semble limité.

Une attention croissante est accordée à l'agroécologie comme voie de développement durable des systèmes agricoles et alimentaires (Gliessman, 1990 ; Altieri, 2002 ; Francis *et al.,* 2003 ; Griffon, 2009), et ce particulièrement dans les environnements à forte variabilité. Les termes « agroécologie » ou « transition agroécologique » sont entrés dans les discours sur les politiques de développement agricole et suscitent un grand intérêt auprès des agriculteurs et des scientifiques (Berton *et al.,* 2013). L'agroécologie repose sur la conception de systèmes agricoles où les apports extérieurs à l'agroécosystème sont limités grâce à la valorisation des processus écologiques « internes ». La biodiversité constitue une composante-clé de l'agroécologie (Altieri, 2002 ; Le Roux *et al.,* 2008), soutenant la production de nombreux services écosystémiques (dont la disponibilité en eau, la fertilité, le contrôle des « ennemis des cultures », etc.), de régulation des flux (dont la qualité de l'eau, la régulation des cycles biogéochimiques, etc.) et socioculturels.

L'agrobiodiversité, un levier pour une agriculture durable et résiliente

Une étude sur 50 ans de données sur les rendements annuels de 176 espèces cultivées dans 91 pays a montré qu'une plus grande diversité de cultures au niveau national est associée à une stabilité temporelle accrue de l'approvisionnement alimentaire (Renard et Tilman, 2019). Ces liens diversité-stabilité relèvent d'un « effet d'assurance ». Les réponses des différentes cultures aux perturbations climatiques ou biotiques peuvent alors se compenser. À l'échelle de la parcelle, Prieto *et al.* (2015) ont étudié l'effet de la diversité inter- et intra-spécifique sur la productivité et la stabilité d'un agrosystème de plantes fourragères en station expérimentale. Cette étude souligne l'importance que pourrait jouer la diversité intra-spécifique pour la stabilité des agrosystèmes et ceci d'autant plus en conditions de ressources limitées et d'aléas climatiques. Zhu *et al.* (2000) ont également souligné l'importance de la diversité variétale pour la résistance aux maladies.

Les solutions basées sur l'agrobiodiversité sont de plus en plus étayées par la recherche (Sarr, 2012 ; Pironon *et al.,* 2019 ; Renard et Tilman, 2019 ; Hertel et Lobell, 2014 ; Howden *et al.,* 2007). Cependant, alors que plusieurs décennies de recherche ont permis d'avancer les connaissances des liens entre biodiversité et fonctionnement des écosystèmes dans les milieux naturels (Tilman, 1999 ; Tilman *et al.,* 1997 ; Zhu *et al.,* 2000 ; Tilman *et al.,* 2006 ; Cardinale *et al.,* 2013 ; Prieto *et al.,* 2015), le potentiel de l'agrobiodiversité pour soutenir la résilience des agroécosystèmes reste sous-évalué, particulièrement au Sud. En effet, 276 études sur les bénéfices de l'agrobiodiversité ont été

menées en Afrique du Nord et de l'Ouest contre plus de 1 000 en Amérique du Nord (Bellouin *et al.,* 2019). Ces chiffres reflètent l'inadéquation entre la demande pressante des populations au Sud, qui subissent déjà les effets des changements climatiques, et les recherches conduites.

Production de savoirs agroécologiques

L'innovation agronomique centrée sur le rendement et testée en station expérimentale est souvent conceptualisée comme généralisable et transposable quelles que soient les conditions d'exploitation. Ces systèmes de culture ont été définis à partir de connaissances scientifiques génériques avec peu ou pas d'interactions avec les agriculteurs (Le Gal *et al.,* 2011). *A contrario*, la transition agroécologique, comme le rapporte Leclère (2020), doit : (1) adapter localement les solutions génériques issues des sciences agronomiques ; (2) complémenter les connaissances scientifiques avec les savoirs locaux issus de l'expérience des agriculteurs ; (3) inspirer et produire de nouvelles connaissances agronomiques. L'innovation agroécologique se doit donc par définition d'être contextualisable et généralisable. Rosset et Altieri (2017) stipulent que l'agroécologie, en plus d'être un ensemble de pratiques spécifiques, favorise un « dialogue des sagesses », et intègre des éléments de la science moderne, de l'ethnoscience et des contextes socio-économiques, culturels et environnementaux. La mobilisation conjointe des connaissances scientifiques et des connaissances des agriculteurs, perçues comme des connaissances à la fois expertes et contextualisées, constitue une approche-clé dans l'accompagnement de la définition de savoirs agroécologiques. À ce titre, les réseaux d'expérimentations avec les agriculteurs créent un contexte favorable pour hybrider les connaissances (Doré *et al.,* 2011 ; Leclère, 2020 ; Hazard *et al.,* 2017) tout en permettant les apprentissages collectifs et génériques (Girard et Magda, 2018). À travers le projet Patur'Ajust, Girard et Magda (2018) ont montré que le développement de telles initiatives amenait, d'une part, à renforcer la capacité d'action des agriculteurs et, d'autre part, à bénéficier de leur apprentissage en vue de les transformer en ressources utiles pour d'autres agriculteurs. De telles approches favorisent le partage d'expériences au sein du réseau (visites de terrain) et le partage des connaissances qui en découlent (rédaction de fiches techniques). Dès lors, Altieri et Toledo (2011) soulignent l'importance d'une implication directe des agriculteurs dans les processus d'innovations technologiques.

Capitalisation de savoirs paysans : le projet DivAgro au Sénégal

L'agriculture en Afrique de l'Ouest repose essentiellement sur une agriculture familiale. Au Sénégal, elle représente environ 95 % des exploitations. Ces exploitations familiales s'appuient sur une diversité d'espèces et de variétés,

essentiellement paysannes (Evenson et Gollin, 2003). En effet, les sociétés pratiquant l'agriculture dans des zones à forte variabilité de précipitations ou sujettes à des évènements extrêmes, comme c'est le cas dans la zone soudano-sahélienne, gèrent souvent une diversité d'espèces et de variétés pour bénéficier de l'effet d'assurance de cette diversité et sécuriser leurs moyens de subsistance (Altieri et Merrick, 1987 ; Coomes *et al.,* 2015).

Dans ce contexte, le projet DivAgro (encadré 1) avait pour but de capitaliser les expériences singulières des agriculteurs du Sénégal vis-à-vis d'une pratique agroécologique caractéristique des agrosystèmes familiaux en Afrique de l'Ouest : le mélange variétal au sein des parcelles sous agriculture pluviale et sans apport d'engrais, et ce dans un contexte d'aléas climatiques.

Le mil est une culture emblématique au Sénégal et représente 66 % de la production céréalière nationale. L'association de variétés de mil est une des associations plébiscitées par les agriculteurs sénégalais. En effet, les paysans cultivent souvent du mil en associant deux variétés : l'une précoce appelée « souna » et l'autre tardive appelée « sanio » ou « mathye » (Muller *et al.,* 2015).

Les objectifs précis du projet DivAgro étaient donc (1) de tester le rôle de la diversité intra-spécifique du mil sur la productivité et la résistance aux pathogènes et (2) d'évaluer expérimentalement cette pratique par une approche participative.

Encadré 1
Les partenaires du projet DivAgro

Le projet DivAgro a été mené en collaboration avec plusieurs organismes de recherche :

– en France, avec l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) ;

– au Sénégal, avec l'université Gaston Berger (UGB), l'Institut sénégalais de recherche agricole (Isra), et l'Association sénégalaise de producteurs de semences paysannes (ASPSP).

L'UGB, l'IRD et l'Isra sont des instituts de recherche très impliqués dans le travail sur les changements globaux, la diversité et l'adaptation des systèmes agricoles. L'Isra appuie l'État sénégalais dans l'élaboration de son programme national d'adaptation aux changements climatiques. L'ASPSP s'intéresse à la biodiversité agricole gérée par les agriculteurs avec leurs connaissances et leurs savoir-faire pour favoriser l'autonomie semencière.

Méthode et résultats

Des expérimentations ont été conduites au Sénégal pendant les saisons des pluies de 2018 et 2019 dans deux villages faisant partie du réseau paysan de l'Association sénégalaise de producteurs de semences paysannes (ASPSP) : Lissar et Mbane (fig. 1).

Figure 1
Sites d'étude du projet DivAgro au Sénégal.

Le village de Lissar est un village très actif en termes d'innovation agroécologique. Les paysans ont suivi de nombreuses formations et ont, de ce fait, un historique de participation à des projets de recherche. Le village de Mbane, quant à lui, a bénéficié de moins d'interactions paysans-chercheurs. D'un point de vue climatique, Lissar se trouve en zone aride, avec une pluviométrie faible (en moyenne 350 mm par an), et Mbane présente une pluviométrie plus importante (516 mm de pluie par an).

Au sein de chacun de ces deux villages sénégalais, quinze parcelles paysannes de 300 m^2 ont été sélectionnées. Sur chaque parcelle, des placettes semées avec un mélange de quatre variétés de mil, combinant des cycles courts et longs, et des placettes semées avec une seule de ces variétés ont été comparées. L'étude a été menée sur deux ans, et des mesures de rendement ont été collectées afin de quantifier et comparer les coûts et bénéfices des mélanges variétaux liés à des effets de complémentarité et/ou des effets d'assurance (fig. 2).

Figure 2
Effets de mélanges variétaux de mil sur le rendement et la stabilité.
A. Complémentarité.
B. Effet d'assurance.
En gris est indiqué le rendement moyen de la parcelle. Les pertes de rendements de certaines variétés sont compensées par les meilleurs rendements obtenus pour les autres variétés.

Construire une compréhension commune de l'agrobiodiversité

Les paysans ont participé à toutes les étapes du projet, des essais expérimentaux aux discussions des résultats (fig. 3).

À la fin des expérimentations, des journées de discussion impliquant une diversité d'acteurs (acteurs de développement, producteurs, chercheurs) ont permis d'échanger sur des pratiques de culture en mélanges variétaux mais aussi d'évaluer l'expérience collaborative du projet. Les échanges ont débuté avec une séance où chaque participant a dessiné ses propres parcelles (composition variétale et spécifique), éléments qui ont ensuite été discutés collectivement. L'objectif était d'aller au-delà des expériences singulières des agriculteurs vers des connaissances généralisables et transposables.

Cette approche est sensiblement analogue à celles de Doré *et al.* (2011) qui ont déployé des méthodes cherchant à mobiliser les connaissances expertes et contextualisées des agriculteurs. À travers leurs expériences singulières, les agriculteurs nous ont décrit les services écosystémiques que les associations d'espèces ou de variétés apportent à la fertilité des sols :

« Je cultive deux champs et dans les deux on retrouve des arbres tels que le Soump (*Faidherbia albida*), le jujubier (*Ziziphus jujuba*), le nger (*Guiera senegalensis*). Je m'appuie sur l'apport fertilisant de ces arbres dans les champs que je cultive » ;

Figure 3
Journées de présentations et d'échanges auprès de producteurs et d'acteurs de développement dans les villages de Lissar et Mbane.
Démarrage du projet (A), semis des essais avec les producteurs (B), restitutions de résultats (C et D).
© Aby Cissé (photos A et B).
© Gustave Fall (photos C et D).

« Il y a un intérêt à mettre en association différentes cultures, notamment en y intégrant des légumineuses. En effet, cela permettra de bénéficier de la complémentarité, de l'apport de nutriments d'une espèce à l'autre et par conséquent on pourrait limiter l'utilisation excessive d'engrais. »

Ou pour la protection des cultures :

« En termes d'attaques d'oiseaux, l'association du mil et du sorgho que je fais, limite les dégâts comparé à si j'avais semé une parcelle de mil uniquement. »

« Le sorgho repousse le striga, par conséquent, le mélange mil-sorgho est très bénéfique contre l'attaque de striga. »

Les travaux menés au sein du projet DivAgro ont été appréciés par les agriculteurs qui ont encouragé cette approche participative. Un agriculteur souligne l'importance de mener des projets de recherche en milieu paysan :

« La plupart du temps, le chercheur travaille isolément dans des centres expérimentaux, publie des résultats, alors que le producteur n'a aucune visibilité sur ces travaux menés, n'a aucune idée de comment ce chercheur déroule ces activités. Avec le projet DivAgro, le chercheur est descendu sur le terrain, a

collaboré avec le producteur et ensemble, ils ont mis en pratique une nouvelle technologie. Dès lors, pour tout résultat qui en découle, le producteur est impliqué sur toute la chaîne de valorisation, s'y retrouve, et suscite sa motivation ».

Un autre agriculteur souligne que : « les politiques agricoles ne les [les agriculteurs] outillent pas pour aller vers les centres expérimentaux et assister aux travaux de recherche. ».

Rechercher ensemble permet ainsi aux agriculteurs « de bénéficier d'une nouvelle expertise ». Les chercheurs et agriculteurs apparaissent ainsi complémentaires, « Les différents acteurs devraient évoluer de pair. Ni le chercheur, ni le producteur ne pouvant aller l'un sans l'autre. Ils doivent collaborer et la recherche devrait collaborer avec le monde paysan afin d'améliorer les choses. C'est uniquement à travers cette collaboration que des bénéfices pourront être tirés » (un agriculteur) ; « Il faut que vous changiez d'approche. Les chercheurs et les universitaires devraient se rapprocher des producteurs ».

Conclusion

Ce projet s'est nourri des regards croisés d'agriculteurs et de chercheurs. Plusieurs axes ont été discutés pour les futurs programmes de recherche tels que : (1) favoriser la transdisciplinarité ; (2) réaffirmer le rôle central des agriculteurs dans les dispositifs de recherche expérimentale ; (3) mettre en place des options permettant le développement d'une politique de recherche collaborative efficace ; (4) initier une dynamique territoriale multi-acteurs sur la biodiversité ; (5) formaliser et utiliser les connaissances des agriculteurs comme ressources pour outiller la recherche et les acteurs de développement.

La co-construction de connaissances et d'expériences pour accompagner la transition agroécologique constitue une voie incontournable. Une meilleure prise en compte des perspectives, savoirs et pratiques des agriculteurs passe par l'implication de ces acteurs dans les projets de recherche. Avec le projet DivAgro, nous avons développé une voie de dialogue croisée et participative visant à identifier les coûts et bénéfices d'une pratique paysanne. Ce dispositif d'innovation ouverte, avec une mise en œuvre en milieu paysan, permet d'accompagner les activités de re-conception des pratiques agricoles. Nos travaux soulignent la nécessité d'intégrer une communauté de recherche (chercheurs et agriculteurs) pour le développement d'une agriculture durable qui réponde aux enjeux socio-environnementaux et climatiques à venir.

Remerciements

Cet article est le fruit d'un travail collaboratif effectué dans le cadre du programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D, financement n°5408A1P3-55) et qui a rassemblé chercheurs et agriculteurs des institutions de l'Isra, de l'IRD, du Cefe-CNRS de l'UGB et de l'ASPSP durant deux années, 2018 et 2019. Nous remercions les agriculteurs des villages de Lissar et Mbane qui ont été au cœur de cette étude. Aby Cissé a reçu une bourse doctorale de l'Office allemand d'échanges universitaires (DAAD). L'ambassade de France au Sénégal, au travers de son Service de coopération et d'action culturelle (Scac), et l'IRD, au travers de la bourse ARTS (Allocations de recherche pour une thèse au Sud), ont financé les séjours de recherche en France.

Références bibliographiques

Altieri M. A., 2002
Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, ecosystems and environments*, 93 (1-3) : 1-24. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3

Altieri M. A., Merrick L. C., 1987
In situ conservation of crop genetic-resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany*, 41 (1) : 86-96. https://doi.org/10.1007/BF02859354

Altieri M. A., Toledo V. M., 2011
The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasants Sudies*, 38 (3) : 587-612. https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947

Barry M. B., Diagne A., Pham J.-L., Ahmadi N., 2008
Évolution récente de la diversité génétique des riz cultivés (*Oryza sativa* et *O. glaberrima*) en Guinée. *Cahiers Agricultures*, 17 (2) : 122-127. https://doi.org/10.1684/agr.2008.0167

Bedoussac L., Justes E., 2011
A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: application to durum wheat-winter pea intercrops. *Field Crops Research*, 124 : 25-36. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025

Beillouin D., Ben-Ari T., Makowski D., 2019
Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. *Environmental Research Letters*, 14 (12) : 123001.

Berton S., Billaz R., Burger P., Lebreton A., 2013
Agroécologie, une transition vers des modes de vie et de développement viables. *Paroles d'acteurs*. Rapport, Agrisud International, Libourne, 36 p.

Bezançon G., Pham J. L., Deu M., Vigouroux Y., Sagnard F., Mariac C., Kapran I., Mamadou A., Gérard B., Ndjeunga J., Chantereaux J., 2009
Changes in the diversity and geographic distribution of cultivated millet (*Pennisetum glaucum* (L.) B. Br.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties in Niger between 1976 and 2003. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56 : 223-236. https://doi.org/10.1007/s10722-008-9357-3

Cardinale B. J., Gross K., Fritschie K., Flombaum P., Fox J. W., Rixen C., Van Ruijven J., Reich P. B., Scherer-Lorenzen M., Wilsey B. J., 2013
Biodiversity simultaneously enhances the production and stability of community biomass, but the effects are independent. *Ecology*, 94 (8): 1697-1707. https://doi.org/10.1890/12-1334.1

Challinor A. J., Watson J., Lobell D. B., Howden S. M., Smith D. R., Chhetri N., 2014
A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4 (4) : 287-91. https://doi.org/10.1038/nclimate2153

Coomes O. T., McGuire S. J., Garine E., Caillon S., McKey D., 2015
Farmer seed networks make a limited contribution to agriculture? Four common misconception. *Food Policy*, 56 : 41-50. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.07.008

Coquil X., Cerf M., Auricoste C., Joannon A., Barcellini F., Cayre P., Chizallet M., Dedieu B., Hostiou N., Hellec F., Lusson J. M., Olry P., Omon B., Prost L., 2018
Questioning the work of farmers, advisors, teachers and researchers in agroecological transition. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38 : 47. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0524-4

Dieng D., Laux P., Smiatek G., Heinzeller D., Bliefernicht J., Sarr A., Gaye A. T., Kunstmann H., 2018
Performance analysis and projected changes of agroclimatological indices across West Africa based on high-resolution regional climate model simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. https://doi.org/10.1029/2018JD028536

Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., Tittonell P., 2011
Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34 (4) :197-210. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006

Evenson R. E., Gollin D., 2003
Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300 (5620), 758-762. https://doi.org/10.1126/science.1078710

Faye B., Webber H., Naab J. B., MacCarthy D. S., Adam M., Ewert F., Lamers J. P. A., Schleussner C. F., Ruane A., Gessner U., Hoogenboom G., Boote K., Shelia V., Saeed F., Wisser D., Hadir S., Laux P., Gaiser T., 2018
Impacts of 1.5 versus 2.0°C on cereal yields in the West African Sudan savanna. *Environmental Research Letters*, 13 (3) : 034014. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaab40

Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland T. A., Creamer N., Harwood R., Salomonsson L., Helenius J., Rickerl D., Salvador R., Wiedenhoeft M., Simmons S., Allen P., Altieri M., Flora C., Poincelot R., 2003
Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22 (3) : 99-118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10

Girard N., Magda D., 2018
Les jeux entre singularité et généricité des savoirs agroécologiques dans un réseau d'éleveurs. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 12 (2) : 199. https://doi.org/10.3917/rac.039.0199

Gliessman S. (éd.), 1990
« Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture: a goal ». *In* Gliessman S. (eds) : *Agroecology. ecological studies (analysis and synthesis)*, vol. 78, Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3252-0_21

Graeub B. E., Chappell M. J., Wittman H., Ledermann S., Bezner Kerr R., Gemmil-Herren B., 2016
The state of family farms in the world. *World development,* 87 : 1-15. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006.

Griffon M., 2009
Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive et à haute valeur environnementale ? *Pour*, 202-203 (3) : 117-123. https://doi.org/10.3917/pour.202.0117.

Grman E., Lau J. A., Schoolmaster D. R., Gross K. L., 2010
Mechanisms contributing to stability in ecosystem function depend on the environmental context. *Ecology Letter*, 13 : 1400-1410. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01533.x.

Hazard L., Steyaert P., Martin G., Couix N., Navas M. L., Duru M., Lauvie A., Labatut J., 2017
Mutual learning between researchers and farmers during implementation of scientific principles for sustainable development: The case of biodiversity-based agriculture. *Sustainability Science*, 13 (1). https://doi.org/10.1007/s11625-017-0440-6.

Hertel T. W., Lobell D. B., 2014
Agricultural adaptation to climate change in rich and poor countries: Current modeling practice and potential for empirical contributions. *Energy Economics*, 46 : 562-75. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.04.014

Hooper D. U., Chapin F. S., Ewel J. J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J. H., Lodge D. M., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A. J., Vandermeer J., Wardle D. A., 2005
Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75 : 3-35. https://doi.org/10.1890/04-0922

Howden S. M., Soussana J. F., Tubiello F. N., Chhetri N., Dunlop M., Meinke H., 2007
Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (50) : 19691-19696. https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104

Jarvis D. I., Brown A. H. D., Hung Cuong P., Collado-Panduro L., Latournerie-Moreno L., Gyawali S., Tanto T., Sawadogo M., Mar I., Sadiki M., Hue N. T. N., Arias-Reyes L., Balma D., Bajracharya J., Castillo F., Rijal D., Belqadi L., Rana R., Saidi S., Ouedraogo J., Zangre R., Rhrib K., Chavez J. L., Schoen D., Sthapit B., De Santis P., Fadda C., Hodgkin T., 2008
A global perspective of the richness and evenness of traditional crop-variety diversity maintained by farming communities. 105 (14) : 5326-5331. www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=46149124558&origin=inward

Leclère M., 2020
Introduire une espèce de diversification dans les systèmes de culture d'un territoire : articuler production de connaissances et conception dans des dispositifs multi-acteurs. Cas de la cameline dans l'Oise. Thèse de doctorat, université Paris-Saclay, 282 p. https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02528345

Le Gal P. Y., Dugué P., Faure G., Novak S., 2011
How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm levels? A review. *Agricultural Systems*, 104 (9) : 714-728. https://doi.org/10.1016/j.agsi

Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran R., Roger-Estrade J., Sarthou J. P., Trommetter M., 2008
Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Rapport, Inra, INP, Toulouse, France, 117 p. http://oatao.univ-toulouse.fr/16331

Lobell D. B., Schlenker W., Costa-Roberts J., 2011
Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333 (6042) : 616-620. https://doi.org/10.1126/science.1204531

Lovell S. T., Dupraz C., Gold M., Jose S., Revord R., Stanek E., Wolz K. J., 2017
Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforestry Systems*. https://doi.org/10.1007/s10457-017-0087-4

Mulder C. P. H., Uliassi D. D., Doak D. F., 2001
Physical stress and diversity-productivity relationships: the role of positive interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98 (12) : 6704-6708. https://doi.org/10.1073/pnas.111055298

Muller B., Lalou R., Kouakou P., Soumaré M. A., Bourgoin J., Dorégo S., Sine B., 2015
« Le retour du mil sanio dans le Sine : une adaptation raisonnée à l'évolution climatique ». *In* Sultan B. *et al.* (éd.) : *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, IRD Éditions, Marseille : 377-401.

Pironon S., Etherington T. R., Borrell J. S., Kühn N., Macias-Fauria M., Ondo I., Tovar C., Wilkin P., Willis K., 2019
Potential adaptive strategies for 29 sub-Saharan crops under future climate change. *Nature Climate Change*, 9 (10) : 758-763. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0585-7

Prieto I., Violle C., Barre P., Durand J. L., Ghesquiere M., Litrico I., 2015
Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nature plants*, 1 (4) : 15033. www.nature.com/articles/nplants201533.

Renard D., Tilman D., 2019
National food production stabilized by crop diversity. *Nature*, 571 (7764) : 257-260. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y

Rosset P. M., Altieri M. A. (eds), 2017
Agroecology: science and politics. Fernwood Publishing, Canada, 160 p. https://doi.org/10.1080/03066150.2019.1615184

Rowell D. P., 2006
A demonstration of the uncertainly in projections of UK climate change resulting from regional model formulation. *Climatic Change*, 79 : 243-257. https://doi.org/10.1007/s10584-006-9100-z

Sarr B., 2012
Present and future climate change in the semi-arid region of West Africa: a crucial input for practical adaptation in agriculture. *Atmospheric Science Letters*, 13 (2) :108-112. https://doi.org/10.1002/asl.368

Sultan B., Dimitri D., Toshichika L., 2019
Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Scientific Reports,* 9 (1) : 12834. https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0

Sylla M. B., Giorgi F., Pal J. S., Gibba P., Kebe I., Nikiema M., 2015
Projected changes in the annual cycle of high-intensity precipitation events over West Africa for the late twenty-first century. *Journal of Climate*, 28 (16) : 6475-6488. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00854.1

Taylor I. H., Burke E., McColl L., Falloon P. D., Harris G. R., McNeall D., 2013
The impact of climate mitigation on projections of future drought. *Hydrology and Earth System. Sciences*, 17 : 2339-2358. https://doi.org/10.5194/hess-17-2339-2013

Tilman D., 1999
The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 80 : 1455. https://doi.org/10.2307/176540

Tilman D., Lehman C. L., Thomson K. T., 1997
Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations. *Proceedings of the national academy of sciences*, 94 (5) : 1857-1861. https://doi.org/10.1073/pnas.94.5.1857

Tilman D., Reich P. B., Knops J. M., 2006
Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 441 (7093) : 629-632. https://doi.org/10.1038/nature04742

Toffolini Q., Cardona A., Casagrande M., Dedieu B., Girard N., Ollion E., 2019
Agroecology as farmers' situated ways of acting: a conceptual framework. *Agroecology and Sustainable Food Systems,* 43 (5) : 514-545. https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1514677

Torquebiau E. F., 2000
« A renewed perspective on agroforestry concepts and classification ». *Comptes rendus, Académie des Sciences*, Séries III, 323 : 1009-1017. https://doi.org/10.1016/S0764-4469(00)01239-7

Turco M., Palazzi E., Hardenberg J. (von), Provenzale A., 2015
Observed climate change hotspots: observed climate change hotspots. *Geophysical Research Letters*, 42 (9) : 3521-3528. https://doi.org/10.1002/2015GL063891

Vandermeer J. (ed), 1989
The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge. https://doi.org/10.1017/CBO9780511623523

Wheeler T., Von Braun J., 2013
Climate change impacts on global food security. *Science,* 341 (6145) : 508-13. https://doi.org/ 10.1126/science.1239402

Zhu Y., Chen H., Fan J., Wang Y., Li Y., Chen J., Mew T. W., 2000
Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406 (6797) : 718-722. https://doi.org/10.1038/35021046

Restaurations post-exploitations

Chapitre 36

Dynamique spatio-temporelle de la forêt classée de l'Alibori-Supérieur et impact sur la biodiversité végétale

Séverin Biaou
Université de Parakou, Bénin

Gérard Nounagnon Gouwakinnou
Université de Parakou, Bénin

Gbènato Laurent Houessou
Université de Parakou, Bénin

Codjo Fiacre Ahononga
Université de Parakou, DGEFC, Bénin

Shègoun Eudes Idjigberou
Université de Parakou, Bénin

Ogoubiyi Félix Houeto
Cenatel, Bénin

Introduction

Les écosystèmes forestiers offrent de multiples biens et services à travers une bonne gestion de leur biodiversité ; ils aident notamment à lutter contre le réchauffement climatique. Ces écosystèmes sont transformés par les activités anthropiques pour répondre aux besoins socio-économiques (Fahrig, 2003). La dynamique de la structure spatiale du paysage qui résulte de ces perturbations est due majoritairement à la surexploitation des terres, la déforestation et la dégradation forestière (Gomgnimbou *et al.,* 2010). Ces facteurs de transformation perturbent le processus naturel de succession écologique, affectent la diversité biologique (Mustard *et al.,* 2004) et provoquent le dysfonctionnement des écosystèmes (Yeo *et al.,* 2013) et la réduction des habitats (Ilunga *et al.,* 2017 ; Oumar *et al.,* 2019).

La compréhension des causes et conséquences de la fragmentation forestière est cruciale pour préserver la biodiversité et ses fonctions (Liu *et al.,* 2019). Ces situations ont suscité plusieurs initiatives, dont celles relatives à la Convention des Nations unies sur la diversité biologique qui visent à réduire de façon significative la perte de la biodiversité. Cette initiative a suscité un engouement de la communauté scientifique sur les questions de conservation

de la biodiversité (Imorou *et al.*, 2017), de réduction des facteurs de perte de la biodiversité et de pérennisation des services écosystémiques (Carpenter *et al.,* 2009). Le dernier rapport de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019) montre que le déclin rapide passé et actuel de la biodiversité et des fonctions écosystémiques remet en cause l'atteinte des objectifs socio-environnementaux de diverses conventions, accords et programmes de développement durable (Convention d'Aichi sur la diversité biologique, Accord de Paris sur le climat, Programme de développement durable à l'horizon 2030, Vision 2050 pour la biodiversité) (Bongaarts, 2019). Plusieurs préoccupations demeurent, notamment l'impact des changements d'utilisation des terres sur la biodiversité. La réponse à cette préoccupation permettrait de mieux comprendre l'impact de l'intensification du changement de l'utilisation des terres sur les fonctions écologiques.

En Afrique, la perte nette de superficie forestière est estimée à 3,94 millions d'hectares par an entre 2010 et 2020 (FAO et Pnue, 2020). Les principales causes de cette déforestation sont la surexploitation des terres, l'urbanisation et l'exploitation forestière (Gomgnimbou *et al.,* 2010). Ces facteurs de déforestation sont reconnus comme des facteurs de perte de biodiversité. La plupart des travaux effectués sur la déforestation et sur la perte de biodiversité forestière concernent les changements d'occupation des sols, notamment les classes de végétation à travers l'interprétation d'images satellitaires (Arouna *et al.,* 2017 ; Biaou *et al.,* 2019 ; Ahononga *et al.,* 2020). Ces études renseignent sur la situation globale de la biodiversité sans toutefois évaluer les changements qui s'opèrent dans les communautés écologiques.

Au Bénin, la surface forestière est passée de 4,83 à 3,13 millions d'hectares entre 1990 et 2020, soit un taux de régression de 35,15 % sur cette période (FAO, 2020). Cela correspond à une perte annuelle moyenne de 5, 67 millions d'hectares de l'habitat de la biodiversité (Houéssou *et al.,* 2013). Les aires protégées, dont les forêts classées, constituent la plupart du temps le réservoir de cette biodiversité. La forêt classée de l'Alibori-Supérieur, objet de la présente étude, est l'une des plus vastes (256 000 ha) forêts classées du Bénin. Elle subit d'énormes pressions anthropiques dues à la riveraineté des agglomérations, et les principales activités pratiquées par les populations y sont l'agriculture itinérante sur brûlis dominée par la culture de coton, l'exploitation forestière et le pastoralisme (Hountondji *et al*., 2013 ; Ousseni *et al.,* 2016). L'objectif principal de cette étude est d'analyser la dynamique de la composition végétale et du paysage de la forêt classée de l'Alibori Supérieur au Bénin, en lien avec les indices de diversité et les paramètres structuraux des formations végétales.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

Cette étude a été conduite dans la forêt classée de l'Alibori-Supérieur érigée en forêt classée par l'administration coloniale par arrêté (n° 6459 SE du 18 août 1955). Cette forêt, d'une superficie de 256 000 ha, est située au nord du Bénin entre 1°55' et 2°50' de longitude Est et entre 10°05' et 11°20' de latitude Nord (fig. 1), où la culture du coton est dominante. Le climat est de type soudanien caractérisé par un régime pluviométrique unimodal avec un gradient septentrional allant de 900 mm à 1 200 mm (Adomou, 2005). La température annuelle moyenne varie entre 30 et 35 °C et peut exceptionnellement atteindre 40 °C. La végétation est constituée de savanes arbustives, de savanes boisées, de quelques îlots de forêts claires ainsi que de mosaïques de champs et de jachères. On y rencontre majoritairement *Khaya senegalensis*, *Daniellia oliveri*, *Diospyros mespiliformis*, *Isoberlinia* spp., *Detarium microcarpum*, *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Vitex doniana* et *Combretum* spp. Le sol est majoritairement ferrugineux.

Figure 1
Localisation des sites d'étude.
Source : images Spot enregistrées 2000 et 2014. Carte topographique IGN, 1995.
Coordonnées GPS, IFN 2007.

Évaluation de la dynamique du paysage entre 2000 et 2014

Analyse d'images satellitaires

Des images Spot (2000 et 2014) prétraitées couvrant la zone de la forêt classée ont été utilisées. Les prétraitements ont concerné notamment les corrections géométriques et des améliorations de couleurs. Les cartes topographiques au 1/200 000 réalisées par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et couvrant cette forêt, ont été utilisées comme fonds de carte. Ensuite, des opérations de géoréférencement dans le référentiel UTM-31 WGS-84 Nord ont été effectuées. L'approche d'interprétation visuelle a été adoptée pour la classification des unités homogènes d'occupation. Ainsi, toutes les images ont été mises en composition fausse couleur. L'interprétation a démarré par les images de 2014. L'identification et la digitalisation des classes d'occupation du sol se sont basées sur la couleur, le ton, la structure, la texture, la forme et la localisation des objets grâce au logiciel Qgis 2.18.16 (Qgis Development Team, 2018). La vérification et la validité de la performance des interprétations ont été réalisées à partir d'une matrice de confusion confrontant les classes obtenues et les points de référence collectés lors la mission de contrôle sur le terrain. La mesure de la précision ainsi que l'indice de Kappa de l'interprétation ont été basés sur la matrice d'erreurs de commission et les erreurs d'omission. L'évolution spatio-temporelle des superficies des différentes unités d'occupation du sol au sein de la forêt a été analysée sur la base d'une comparaison des données d'occupation du sol de 2000 et de 2014. L'intersection des unités d'occupation du sol entre 2000 et 2014 a permis de réaliser la matrice de transition.

Calcul des indices de configuration du paysage

Les images issues de l'interprétation ont été intégrées dans le logiciel Qgis 2.18.16 (Qgis Development Team, 2018) pour évaluer la dynamique de la configuration du paysage à travers le calcul des indices écologiques. À cet effet, l'extension LecoS, qui permet de quantifier de façon automatique la structure du paysage (Jung, 2016), a été utilisée pour déterminer tous les indices du paysage. Ainsi, pour chaque année, les valeurs qui permettent de quantifier le degré d'irrégularité et de fragmentation des classes (Bamba, 2010) ont été calculées, à savoir : la proportion de chaque classe, le nombre total de taches, la dimension fractale de chaque classe et l'indice de forme de la tache.

Évaluation de l'impact de la dynamique du paysage sur la biodiversité

Collecte des données de diversité végétale

Treize placettes permanentes de 18 m de rayon, ont été installées en 2007 (IFN, 2007) et revisités en 2017 suivant la même méthodologie adoptée par l'Inventaire forestier national (IFN). À l'intérieur de ces placettes, les arbres de diamètre supérieur à 10 cm à 1,30 m au-dessus du sol (DBH) ont été identifiés

et leur diamètre mesuré. Par ailleurs, les jeunes tiges de DBH compris entre 3 et 10 cm ont été identifiées et dénombrées dans des sous-placettes de 4 m de rayon, concentriques aux placettes de 18 m de rayon. La liste complète des espèces dénombrées a été établie selon la nomenclature botanique de la flore analytique du Bénin (Akoegninou *et al*., 2006), et les formes de vie, notamment les types biologiques, établis suivant Raunkiaer (1934) et Schnell (1952).

Analyse des données

Deux matrices générées respectivement à partir des données de 2007 et de 2017, ont été utilisées pour estimer pour chaque année les indices de diversité Alpha (Shannon, 1948) grâce au package Vegan (Oksanen *et al*. 2019) dans R (R Core Team, 2018). La densité et la surface terrière des arbres ont été calculées et le test de Wilcoxon a été utilisé pour comparer ces valeurs entre 2007 et 2017. L'indice de diversité temporelle bêta a été calculé avec le package Adespatial (Dray *et al.,* 2019). Le graphique de gain et perte d'espèces a été réalisé pour visualiser leur importance relative (ou abondance par espèce) entre 2007 et 2017. Les analyses ont été effectuées avec le logiciel R version 3.5.0. (R Core Team, 2018).

Résultats

Dynamique du paysage forestier d'Alibori-Supérieur

Les résultats révèlent une forte anthropisation de la forêt classée de l'Alibori-Supérieur. Les forêts denses, forêts claires, forêts galeries et savanes, ont perdu respectivement 0,49 % (10 ha), 1,61 % (214 ha), 14,95 % (12 947 ha) et 20,73 % (12 308 ha) 10 ha, 214 ha, 12 947 ha et 12 308 ha de leur superficie entre 2000 et 2014. En revanche, la superficie des mosaïques de cultures et jachères a augmenté de 25,52 % (gain de 23 638 ha) depuis 2000, couvrant ainsi 42,71 % de la forêt classée (tabl. 1). En 2000, les plantations forestières étaient quasiment absentes ; en 2014, elles occupaient 8 ha. Les superficies des plantations fruitières ont augmenté de 16,82 % (226 ha).

Structure et diversité de la végétation

Les forêts claires et savanes ont connu une augmentation du nombre de taches entre 2000 et 2014 (de 554 à 672 et de 558 à 573 respectivement) (tabl. 2) se traduisant par une fragmentation de ces types d'habitat. Le nombre de taches des champs et jachères a diminué de 445 à 373 avec une augmentation de leur superficie sur la même période (tabl. 2). L'ampleur de cette anthropisation se traduit également par la faible valeur de l'indice de formes des différentes classes. Les classes dont la proportion initiale d'occupation du sol a diminué, ont également vu leur indice de forme diminuer et vis-versa. De toutes les

Tableau 1
Matrice des changements d'occupation du sol entre 2000 et 2014 (ha).

OCS	FD	FGFR	FCSB	SA	STSH	PTFR	PTFT	CJ	PE	HA	Total 2000	Perte
FD	**2 033**							10			2 043	10
FGFR	9	**13 088**	85					120			13 302	214
FCSB		31	**73 667**	832	7		165	11912			86 614	12 947
SA			684	**47 055**			28	11 596			59 363	12 308
STSH				43	**3 919**						3 962	43
PTFR						**0**					0	0
PTFT						3	**1 118**				1 121	3
CJ			4 030	1 306	93	5	33	**87 150**		2	92 619	5 469
PE									**220**		220	0
HA										**101**	101	0
2014	**2 042**	**13 119**	**78 466**	**49 236**	**4 019**	**8**	**1 344**	**110 788**	**220**	**103**	**259 345**	**30 994**
Gain	9	31	4 799	2 181	100	8	226	23 638	0	2	30 994	

FD : forêt dense, FGFR : forêt galerie, FCSB : forêt claire et savane boisée, SA : savane arborée, STSH : savane arbustive et herbeuse, FTFR : plantation forestière, FTFT : plantation fruitière, CJ : champs et jachère, PE : plan d'eau, HA : habitat.

formations naturelles, seules les savanes ont connu une diminution de leur indice de forme durant la période. L'indice de la dimension fractale est inférieur à 2 pour toutes les classes et pour les deux dates. L'analyse de l'indice de division et du degré d'irrégularité montre que toutes les classes ont été fortement divisées (tabl. 2).

Tableau 2
Indices de la structure spatiale de chaque type d'occupation de sol entre 2000 et 2014.

2000	CJ	FCSB	FD	FGFR	HA	PE	PT	SA	STSH
nj	445	554	90	758	13	22	105	558	106
IFj	2,E-05	1,E-05	2,E-05	1,E-06	6,E-04	2,E-04	2,E-05	9,E-06	2,E-05
Dfj	1,04	1,04	1,02	1,02	1,00	1,01	1,01	1,04	1,04
2014	**CJ**	**FCSB**	**FD**	**FGFR**	**HA**	**PE**	**PT**	**SA**	**STSH**
nj	373	672	90	750	13	22	122	573	109
IFj	3,E-05	1,E-05	2,E-05	1,E-06	6,E-04	2,E-04	1,E-05	1,E-05	2,E-05
Dfj	1,03	1,04	1,02	1,02	1,00	1,01	1,01	1,04	1,04

FD : forêt dense, FGFR : forêt galerie, FCSB : forêt claire et savane boisée, SA : savane arborée, STSH : savane arbustive et herbeuse, FT : plantation forestière, CJ : champs et jachère, PE : plan d'eau, Ptj : périmètre total d'une classe *j*, HA : habitat, nj : nombre total de taches, Dfj : dimension fractale, IFj : indice de forme.

Au total, 43 espèces ligneuses réparties en 34 genres et 20 familles botaniques ont été recensées en 2007 avec la prédominance des Cesalpiniaceae et des Combretaceae. Le coefficient génétique est estimé à 0,79. En 2017, le nombre total d'espèces ligneuses est estimé à 30, réparties en 25 genres et 14 familles. Les familles disparues entre 2007 et 2017 sont les Araliaceae, Bignoniaceae, Dipterocarpaceae, Euphorbiaceae, Olacaceae et Polygalaceae. La disparition de certaines espèces est accompagnée d'une émergence des microphanérophytes et des hémicryptophytes au détriment des mésophanérophytes. De plus, l'indice de diversité de Shannon (1,49 ± 0,68 en 2007 et 1,27 ± 0,56 en 2017) et l'équitabilité moyenne de Pielou (0,82 ± 0,13 en 2007 et 0,79 ± 0,13 en 2017) ont régressé. Les taux de réduction de la surface terrière et de la densité des arbres sont de 0,71 et 0,77 respectivement.

L'analyse de la diversité temporelle bêta de 2007 à 2017 montre que sur treize sites d'étude, seuls deux connaissent un gain significatif en espèces et une abondance élevée, soit 15,38 % des sites (sites 4 et 8) (fig. 2). En revanche, sept sites présentent une perte significative en termes d'abondance et d'espèces soit 53,84 % (sites 1, 5, 6, 7,10, 12 et 13) alors que 30,7 % des sites (sites 2, 3, 9 et 11) sont stables entre 2007 et 2017. Les gains d'espèces concernent : *Terminalia macrocarpa, Mytragina inermis, Piliostigma thonningi, Pterocarpus erinaceus, Vitellaria paradoxa, Prosopis africana, Detarium microcarpum* et *Crossopteryx febrifuga.* Les espèces qui ont disparu sont : *Bombax costatum, Combretum fragrans, Cussonia barteri, Securidaca longepedonculata* et *Ximenia americana*. En revanche, *Cassia sieberiana, Afzelia africana, Burkea africana* et *Khaya senegalensis* sont les espèces considérées comme « stables ».

Figure 2

Abondance des espèces entre 2007 et 2017.
La ligne verte (pente 1) représente la ligne où les pertes sont égales aux gains, et la ligne rouge, qui lui est parallèle, indique qu'en moyenne, les pertes dominent les gains dans le pas de temps considéré. Les chiffres de 1 à 13 représentent les numéros des placettes.

Discussion

Entre 2000 et 2014, la forêt classée a subi une transformation de son couvert qui se traduit par une prédominance progressive des formations anthropiques, notamment les champs et jachères, au détriment des formations naturelles. Cet accroissement de la superficie des champs et jachères s'explique par la culture des tubercules d'igname (exigeante en terres fertiles et en lumière) et du coton (culture de rente) par la population riveraine de la forêt, ce qui corrobore les résultats obtenus par Ousseni *et al.* (2016) dans le bassin de l'Alibori-Supérieur et dans la forêt classée de Ouénou-Bénou au Bénin. Comme l'ont souligné Hountondji *et al.* (2013), la pratique de la culture attelée et semi-mécanisée du coton participe, avec la culture des tubercules d'igname, à la forte dégradation des ressources naturelles dans la région de l'Alibori. Mama *et al.* (2013) ont les mêmes conclusions dans la zone soudanienne au nord du Bénin qui a connu le passage d'une économie d'autosubsistance à une économie de marché, avec la culture du coton.

Par ailleurs, la réduction du couvert forestier se traduit par l'accroissement des indices de forme des champs et jachères au détriment de ceux des formations naturelles, notamment les savanes et les forêts claires. De même, la faible valeur de l'indice fractal du paysage étudié montre la diminution de la complexité de la forme du paysage traduisant ainsi la forte altération des écosystèmes forestiers

par l'homme et la fragmentation des habitats naturels. La fragmentation est reconnue comme facteur de modification de la taille et de la forme du paysage, et de réduction de la diversité végétale (Maazou *et al*., 2017). Or généralement, l'isolement des habitats impacte les fonctions écologiques paysagères (Wilson *et al.,* 2016). Pour Mouhamadou *et al.* (2013), les causes de la fragmentation des habitats sont la croissance démographique, les défrichements et les feux de végétation, l'expansion incontrôlée des habitations, l'érosion des croyances religieuses traditionnelles et la faiblesse du pouvoir des chefs religieux. La forêt classée de l'Alibori-Supérieur, gérée par l'administration forestière, n'échappe pas à cette situation car la culture itinérante sur brûlis, dominée par la culture de coton, a provoqué la dispersion des agriculteurs et entraîné la multiplication des fermes agricoles, même à l'intérieur des aires protégées (Hountondji *et al.,* 2013). À ces formes d'exploitation s'ajoutent les exploitations pastorales et forestières illégales des ressources, ce qui affecte la diversité des peuplements (Woueni *et al.,* 2019) et la régénération des espèces (Amahowe *et al.,* 2018).

En 10 ans (2007-2017), des types biologiques ont disparu des placettes permanentes, avec une émergence des microphanérophytes et des hémicriptophytes au détriment des mesophanérophytes. Selon Ousseni *et al.* (2016), la présence de phanérophytes permet d'espérer la restauration des formations naturelles dégradées. La régénération assitée des espèces endogènes constitue ainsi une approche écologique à priviligier pour la restauration des écosystèmes forestiers, plutôt que celle des essences exogènes. La réduction des indices de diversité et de la richesse spécifique des formations végétales occasionnée par leur fragmentation, pourraient avoir un impact sur la viabilité des espèces. L'isolement des habitats naturels par les espaces agricoles constitue une barrière pour la pollinisation et limite les échanges entre populations d'espèces (Berges et Roche, 2010).

Conclusion et perspectives

Le paysage de la forêt classée de l'Alibori-Supérieur est fortement perturbé par les pressions anthropiques. L'expansion des espaces agricoles entre 2007 et 2017 a modifié profondément la configuration spatiale du paysage avec une importante fragmentation forestière. Ces transformations ont des impacts négatifs sur la diversité végétale et la richesse spécifique. L'ampleur de cette fragmentation montre l'urgence d'orienter la politique forestière nationale vers la mise en place de stratégies de restauration du couvert forestier, la création de corridors pour faciliter la connectivité entre les populations des espèces afin de réduire, voire inverser, l'érosion de la biodiversité.

Remerciements

Ce travail a été possible grâce au soutien financier de l'IRD au projet « Dynamique-ASO »[1] (IRD : 306625/00) à travers le projet « Observation spatiale des forêts d'Afrique centrale et de l'Ouest » (Osfaco).

Références bibliographiques

Adomou A. C., 2005
Vegetation patterns and environmental implications for biogeography and conservation. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen.

Ahononga F. C., Gouwakinnou N. G., Biaou S. S. H., Biaou S., 2020
Vulnérabilité des terres des écosystèmes du domaine soudanien au Bénin de 1995 à 2015. *Bois et forêts des tropiques*, 346 : 35-50. https://doi.org/10.19182/bft2020.346.a36295

Akoegninou A., Van Der Burg W. J, Van Der Maesen L. J. G., 2006
Flore analytique du Bénin. Backhuys, Cotonou & Wageningen.

Amahowe O. I., Azihou A. F., Armand N. K., Biaou S. S. H., Séverin B., Dieu-Donné A., Salomon B., 2018
Constraints of seedling survival and recruitment under adult tree of a multi-use species *Afzelia africana* Sm and Pers in Sudanian region of Benin (West Africa). *Agroforestry Systems*. https://doi.org/10.1007/s10457-018-0218-6

Arouna O., Etene C. G., Issiako D., 2017
Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 108 (1) : 10543. https://doi.org/10.4314/jab.v108i1.7

Bamba I., 2010
Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République démocratique du Congo. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles, 189 p.

Berges L., Roche P., 2010
Corridors écologiques et conservation de la biodiversité, intérêts et limites pour la mise en place de la trame verte et bleue. *Sciences Eaux & Territoires*, 3 (2), 34-39.

Biaou S., Houeto F., Gouwakinnou G., Biaou H. S. S., Awessou B., Tovihessi S., Tete R., 2019
Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol de la forêt classée de Ouénou-Bénou au Nord-Bénin. Conférence Osfaco « Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique » : 1-20.

Bongaarts J. 2019
IPBES, 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Wiley Online Library.

Carpenter S., Mooney H., Agard J., Capistrano D., Defries R., Dı´Az S., Dietz T., Duraiappah A., Oteng-Yeboah A., Pereira H., Perrings C., Reid W., Sarukhan J., Scholes R., Whyte A., 2009
Science for managing ecosystem services: beyond the millennium ecosystem assessment. *Proc Nat. Academy Sci. United States of Am.*, 106 (5) : 1305-1312.

Diaz A., Keith S. A., Bullock J. M., Hooftman D. A. P., Newton A. C., 2013
Conservation implications of long-term changes detected in a lowland heath metacommunity. *Biological Conservation*, 167 : 325-333.

1 Projet « Dynamique de l'occupation du sol des forêts classées de Ouénou-Bénou et de l'Alibori-Supérieur et de leurs périphéries ».

Djogbenou C. P., Glèlè Kakaï R., Arouna O., Sinsin B., 2011
Analyse des perceptions locales des aménagements forestiers participatifs au Bénin. *Vertigo*, 11 (1) : 1-16.

Dray S., Bauman D., Blanchet G., Borcard D., Clappe S., Guenard G., Jombart T., Larocque G., Legendre P., Madi M., Wagner H., 2019
Adespatial: multivariate multiscale spatial analysis. R package version 0.3-3.

Fahrig L., 2002
Effect of habitat fragmentation on extinction thershold: a synthesis. *Ecological Applications*, 12 (2) : 346-353. https://doi.org/0.2307/3060946

Fahrig L., 2003
Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Evol. Syst.* : 487-515. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419

FAO, 2020
Rapport d'évaluation des forestières mondiales 2020, Bénin. FAO, Rome. 55 p. www.fao.org/3/cb0121fr/cb0121fr.pdf

FAO, Unep, 2020
La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine. Rome, 134 p.

Gomgnimbou P. K. A., Savadogo W. P., Nianogo J. A., Millogo-Rasolodimby, 2010
Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la coton-culture dans la province de la Kompienga (Burkina Faso). *Sciences & Nature*, 7 : 165-175.

Gray C. L., Hill S. L. L., Newbold T., Hudson L. N., Börger L., Contu S., Hoskins A. J., Ferrier S., Purvis A., Scharlemann J. P. W., 2016
Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nat. Commun.*, 7 (12306). https://doi.org/10.1038/ncomms12306

Hannon C. E., 1948
A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.*, 27 : 379-423. https://doi.org/10.10 02/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Houéssou L. G., Tèka O., Imorou I. T., Lykke A. M., Sinsin B., 2013
Land use and land-cover change at W Biosphere Reserve and its surroundings areas in Benin Republic (West Africa). *Environment and Natural Resources Research*, 3 (2) : 87-101.

Hountondji Y.-C., Gaoue O. G., Sokpon N., Ozer P., 2013
Analyse écogéographique de la fragmentation du couvert végétal au Nord-Bénin : paramètres dendrométriques et phyto-écologiques comme indicateurs *in situ* de la dégradation des peuplements ligneux. *Geo-Eco-Trop*, 37 : 53-70.

Ilunga C., Komba J., Mbayu F., Sabongo P., Djele L., 2017
Estimation de la croissance d'essences tropicales africaines à travers une méthode basée sur l'utilisation des outils SIG [Estimating the growth of tropical African species through a method based on the use of GIS tools]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 21 (3) : 2028-9324.

Imorou I. T., Arouna O., Houessou L. G., Sinsin B., 2017
Contribution of sacred forests to biodiversity conservation: case of Adjahouto and Lokozoun sacred forests in southern Benin, West Africa. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (6) : 2936-2951.

IPBES, 2019
Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio E. S., Settele J., Díaz S., Ngo H. T. (eds). IPBES secretariat, Bonn.

Jari Oksanen F., Guillaume B., Michael F., Legendre P., McGlinn D., Minchin P. R., O'Hara R. B., Simpson G. L., Solymos P., Stevens M. H. H., Szoecs E., Wagner H., 2019
Vegan: Community Ecology Package.

Jung M., 2016
LecoS. A python plugin for automated landscape ecology analysis. *Ecological Informatics*, 31 : 18-21. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006

Legendre P., Condit R., 2019
Spatial and temporal analysis of beta diversity in the Barro Colorado Island forest dynamics plot, Panama. *Forest Ecosystems*, 6 (1). https://doi.org/10.1186/s40663-019-0164-4

Li, Y., Wilcove D. S., 2006
Threats to vertebrate species in China and the United States. *BioScience*, 55 : 147-153.

Liu J., Coomes D. A., Gibson L., Hu G., Liu J., Luo Y., Wu C., Yu M., 2019
Forest fragmentation in China and its effect on biodiversity. https://doi.org/10.1111/brv.12519

Maazou R., Rabiou H., Issiaka Y., Abdou L., Saidou I. D. I., 2017
Influence de l'occupation des terres sur la dynamique des communautés végétales en zone sahélienne : cas de la commune rurale de Dantchandou (Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (1) : 79-92.

Mama A., Sinsin B., Canniere C. (de), Bogaert J., 2013
Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au nord du Bénin. *Tropicultura*, 31 (1) 78-88.

Mouhamadou I. T., Imorou I. T., Medaho A. S., Sinsin B., 2013
Perceptions locales des déterminants de la fragmentation des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 66 : 5049-5059.

Mustard F., Defries R., Fisher T., Moran E., 2004
« Land use and land cover change pathways and impacts », *In* Gutman G. *et al*. (eds) : Land change science : observing, monitoring, and understanding trajectories of change on Earth's. *In Remote sensing and digital image processing*. Vol. 6 : 411-429.

Oumar K., Blaise O., Issa S., 2019
Facteurs de fragmentation et stratégies de gestion des massifs forestiers au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 133 : 13516-13531.

Ousseni A., Gervais E. C., Dramane I., 2016
Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Benin. *Journal of Applied Biosciences*, 108 : 10543-10552.

Qgis Development Team, 2018
QGIS Geographic Information System. Open source geospatial foundation project. http://qgis.osgeo.org

R Core Team., 2018
R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing.

Raunkiaer C., 1934
The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendron Press.

Shannon C. E., 1948
A mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J*, 27 : 379-423. https://doi.org/10.10 02/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Schnell R., 1952
Contribution à une étude phytosociologique et phytogéographique de l'Afrique occidentale : les groupements et unités géobotaniques de la région guinéenne. *Mémoire Ifan*, 18 : 41-234.

Wilson M. C., Richard X. C., Didham R. K., Ding P., Holt R. D., Holyoak M., Hu G., Hughes A. C., Jiang L., Laurance W. F., Liu J., Pimm S. L., Robinson S. K., Russo S. E., Si X., Wilcove D. S., Wu J., Yu M., 2016
Habitat fragmentation and biodiversity conservation: key findings and future challenges. *Landsc. Ecol*., 31 : 219-227. https://doi.org/10.1007/s10980-015-0312-3

Woueni D. M., Gaoue O. G., Balagueman R. O., Biaou H. S. S., Natta A. K., 2019
Road mediated spatio-temporal tree decline in traditional agroforests in an African biosphere reserve. *Global Ecology and Conservation*, 20 : e00796. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00796

Yeo K., Tiho S., Ouattara K., Konate S., Maurice L M., 2013
Impact de la fragmentation et de la pression humaine sur la relique forestière de l'université d'Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences,* 6 (61) : 4551-4565.

Chapitre 37

Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol du parc national d'Azagny, Côte d'Ivoire

Apport de la télédétection et des systèmes d'information géographique

Stéphanie Diane Konan HOUPHLET
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Adjo Estelle Genevieve ADIKO
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Djaha KOUAME
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Jean Kouao KOFFI
Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Arthur Brice KONAN-WAIDHET
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

François MUNOZ
Université Grenoble-Alpes, France

Constant Yves ADOU YAO
Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire
Centre suisse de recherches scientifiques en Côte d'Ivoire

Introduction

L'avenir des forêts tropicales suscite depuis longtemps une prise de conscience de la communauté internationale. En effet, depuis le début du XIXe siècle, on observe une diminution accrue de la superficie des forêts tropicales (CHATELAIN, 1996). Cet état de fait inquiète toute la communauté mondiale, et les scientifiques en particulier. Les réponses appropriées pour freiner cette régression intensive des surfaces forestières se sont multipliées au travers de travaux scientifiques (BAMBA, 2010). Les organisations non gouvernementales (ONG) ont de leur côté développé des actions. Et surtout, la gestion des espaces protégés qui abritent l'essentiel de la diversité biologique a été fortement renforcée.

En Afrique, la gestion efficiente des aires protégées est devenue le moyen de protection et de conservation le plus efficace de la biodiversité. C'est le cas en Côte d'Ivoire, qui dispose à cet effet de six réserves naturelles et de huit parcs nationaux. Le parc national d'Azagny (PNA), sur la côte sud de la Côte d'Ivoire, fait partie des rares aires protégées encore bien conservées dans la région phytogéographique de « l'écosystème forestier de Haute Guinée » (Lauginie, 2007). Devenu depuis 1996 le premier espace ivoirien classé site Ramsar (Lauginie, 2007), le PNA inclut une variété d'habitats : mangroves, marécages, forêts marécageuses, savanes incluses, forêts denses humides sempervirentes, forêts périodiquement inondées, formations secondaires et jachères (Kouame, 2009). Avant sa création, le PNA incluait des plantations de caféiers, de cacaoyers, de cocotiers, de palmiers à huile et des cultures vivrières (Koffi *et al*., 2015) qui constituaient une menace pour la biodiversité végétale et l'intégrité de la zone. Afin de freiner la dégradation du couvert forestier dans ce parc, l'État ivoirien a décidé d'expulser les occupants illégaux par des déguerpissements successifs, le premier en 1986 et le second en 2000 (Koffi, 2016). Ces déguerpissements ont eu, à coup sûr, un impact sur la dynamique du couvert forestier dans le PNA. Dans ce contexte, la présente étude a été initiée afin de préciser cette dynamique des écosystèmes du PNA entre 1985 et 2018, à travers une cartographie et un suivi des différents types d'occupation du sol.

Matériels et méthodes

Zone d'étude

Le parc national d'Azagny (PNA) est situé au sud de la Côte d'Ivoire, entre 5°09' et 5°17' de latitude Nord et entre 4°47' et 4°57' de longitude Ouest. Administrativement, il est à cheval sur les départements de Grand-Lahou et de Jacqueville (Lauginie, 2007). C'est une presqu'île délimitée par le fleuve Bandama à l'ouest, le canal d'Azagny au sud, la lagune Ébrié à l'est et le village Tiéviessou au nord (fig. 1). Il est soumis à un climat de type subéquatorial. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 650 mm, avec une température moyenne annuelle de 26 °C et une humidité relative moyenne d'environ 85 % (Eldin, 1971 ; Roth *et al*., 1979). L'ensemble du PNA est situé dans le secteur ombrophile du domaine guinéen, caractérisé par la forêt dense humide sempervirente (Lauginie, 2007 ; Guillaumet et Adjanohoun, 1971). La végétation du PNA est caractérisée par une mosaïque de formations végétales très différentes les unes des autres : les savanes côtières, formations marécageuses, fourrés, forêts denses sempervirentes, forêts secondaires, forêts littorales, forêts de mangrove et plantations abandonnées (Kouame, 2009).

Figure 1
Localisation du parc national d'Azagny.

Récolte et traitement des données

Deux types de données ont été utilisées pour conduire les travaux : d'une part, des images satellitaires de type Landsat couvrant la scène 196-056 (tabl. 1) et d'autre part, des données numériques et alphanumériques. Les trois images satellitaires, préalablement traitées, ont été téléchargées sur le site Earth explorer de l'US Geological Survey (https://earthexplorer.usgs.gov/) et datent de 1985

(couverture ancienne, existant avant le premier déguerpissement des populations), de 2018 (couverture la plus récente) et de 2000 (couverture intermédiaire, année du second déguerpissement).

Tableau 1
Données satellitaires acquises (images Lansdsat couvrant la scène 196-056).

Types de capteurs*	Résolutions (m)	Nombre de bandes	Dates d'acquisition
Landsat 5-TM	30	6	22 décembre 1985
Landsat 7-ETM+	30	8	9 février 2000
Landsat 8-Oli-Tirs	30	11	6 mars 2018

* TM : Thematic Mapper, ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus, Oli-Tirs : Operational Land Imager (Oli) and Thermal Infrared Sensor (Tirs).

La méthodologie adoptée dans ce travail a combiné les techniques de traitement des images satellitaires, à partir des logiciels ENVI 5.3 et ArcGIS 10.1, les techniques d'observation et de collecte de données sur le terrain.

Pour la cartographie, les images satellitaires acquises se présentent sous forme d'une grande scène dans laquelle est contenue la zone d'étude. Le traitement des images a débuté par l'extraction de la zone d'étude sur la base du contour du PNA. Ensuite, pour permettre une bonne discrimination des différentes formations végétales à l'intérieur du PNA (N'Da *et al.*, 2008 ; Sangne *et al.*, 2015), des compositions colorées de type TM 4-5-3, ETM+ 4-5-3 et Oli-tirs 6-5-4 ont été utilisées. L'interprétation visuelle des différentes compositions colorées a permis de sélectionner plusieurs points d'échantillonnage pour des caractérisations floristiques et structurales des formations végétales identifiées au cours de missions de terrain régulières. Ces visites sur site (dont les coordonnées géographiques ont été introduites dans un Global Positioning System, GPS) ont permis d'établir une correspondance entre coloration sur l'image « fausse couleur » et la réalité du terrain. Pour chaque peuplement, des inventaires botaniques ont été effectués. Cet inventaire a consisté à décrire et à estimer la hauteur et le recouvrement des différentes strates de végétation, ainsi que le stade de dégradation.

Ensuite, les cartes d'occupation du sol du PNA ont été réalisées grâce à la méthode de classification supervisée par maximum de vraisemblance. Celle-ci a été choisie pour ses qualités de robustesse dans l'identification de classes spectrales assez proches (Oszwald *et al.*, 2010). En effet, par la règle d'affectation de chaque pixel, elle permet de réduire les risques d'erreur de pixels mal classés en utilisant au mieux les probabilités d'appartenance (Oszwald, 2005). Cette classification a permis de regrouper par classes d'occupation du sol des pixels d'une image, en fonction de leurs caractéristiques spectrales (Monget *et al.*, 1980). Pour s'assurer de la précision de la classification de l'occupation du sol, un contrôle de qualité basé sur le calcul d'une matrice de confusion a été ensuite fait pour chacune des images classifiées (Foody, 2002). Ainsi, à partir des différentes classes observées sur les images de

compositions colorées, nous avons sélectionné lors des campagnes de terrain pour chaque classe, outre des points d'entraînement (parcelles d'entraînement qui ont servi pour la classification), des points de contrôle (cinq points par type). Au total, près de soixante-dix points répertoriés au GPS ont été recueillis durant les campagnes de terrain. De même, un filtre médian 3 x 3 a été utilisé pour l'élimination des pixels isolés avant la production définitive des cartes.

L'analyse de l'évolution des types d'occupation du sol du PNA de 1985 à 2018 a été faite à partir des matrices de transition. Ces dernières ont été élaborées pour décrire les changements d'occupation entre deux dates, comme signifié par Schlaepfer (2002). Les matrices de transition ont permis de mettre en évidence les conversions qu'ont subies les types d'occupation du sol sur trois périodes : 1985 à 2000, 2000 à 2018 et 1985 à 2018.

Enfin, nous sommes passés à une analyse approfondie, en évaluant les changements intervenus au sein de chaque unité d'occupation du sol prise isolément. Cette analyse s'est faite par le calcul du taux de changement (Tc), ou taux moyen annuel d'expansion spatiale, couramment utilisé dans les études sur le changement d'occupation du sol (FAO, 1996 ; Hadjadj, 2011). Ce taux de changement s'évalue à partir de la formule suivante :

$$Tc = [(S_2 / S_1)\ 1/t - 1] \times 100$$

où *Tc* est le taux de changement (%), S_1 la superficie de la classe à la date t_1, S_2 la superficie de la classe à la date t_2 ($t_2 > t_1$) et *t* le nombre d'années entre les deux dates.

Résultats

État de l'occupation de sol

Les classifications effectuées sur les images mettent en évidence les proportions et les superficies des sept classes d'occupation de sol en 1985, 2000 et 2018 (fig. 2 et 3).

En 1985, l'occupation du sol est dominée par les forêts secondaires (27,3 %, soit 5 965,5 ha), les forêts temporairement inondées (21,2 %, soit 4 639,5 ha) et les marécages (19 %, soit 4 142,6 ha).

En 2000, la végétation du PNA est dominée par les forêts secondaires (26,87 %, soit 5 870,5 ha), les marécages (24,8 %, soit 5 416,8 ha) et les cultures et/ou jachères (19,2 %, soit 4 205 ha).

Enfin, l'occupation du sol en 2018 est principalement dominée par les zones de forêts, à savoir les forêts temporairement inondées (29,1 %, soit 6 357,5 ha), les forêts secondaires (23,9 %, soit 5 216 ha), les forêts denses humides (19,8 %, soit 4 323 ha), puis par les zones marécageuses (24,3 %, soit 5 230 ha).

Figure 2
Cartes de l'occupation du sol du PNA de 1985, 2000 et 2018.

	Forêt dense humide	Forêt temporai-rement inondée	Plan d'eau	Savane	Marécage	Forêt secondaire	Culture/ jachère
Année 1985	17,7	21,2	1,5	3,1	19,0	27,3	10,3
Année 2000	12,1	12,2	0,3	4,6	24,8	26,9	19,2
Année 2018	19,8	29,1	0,1	2,4	24,3	23,9	0,5

Figure 3
Estimation des superficies des types d'occupation du sol dans le PNA.

Évolution de l'occupation du sol entre 1985 et 2018

L'évaluation de la qualité de classification a donné une précision globale de 92,83 % pour l'image de 1985, de 91,22 % pour celle de 2000 et de 92,89 % pour celle de 2018, avec des coefficients de Kappa respectifs de 0,91, 0,88 et 0,91. Les confusions les plus importantes se trouvent entre les classes « savane-culture/jachère », « forêt temporairement inondée-marécage » et « forêt secondaire-forêt dense humide ».

De 1985 à 2000, les superficies des forêts denses humides, des forêts temporairement inondées, des plans d'eaux et des forêts secondaires ont diminué respectivement de 31,6 %, 42,7 %, 83,8 % et 1,7 %. Les surfaces des zones savanicoles, marécageuses et des cultures/jachères ont respectivement augmenté de 49 %, 30,7 % et 87,6 % (fig. 4). Pendant cette période, 40,1 % des forêts denses en 1985 sont restées intactes jusqu'en 2000 alors que 59,9 % ont subi une évolution vers d'autres classes et, pour la plupart, ont été converties en forêts temporairement inondées (21,5 %) et en forêts secondaires (21,4 %). Les forêts secondaires ont conservé 55,9 % de leur surface, et le reste a été majoritairement converti en forêts denses humides (12,1 %) et en cultures et/ou jachères (11,7 %). La plupart des forêts temporairement inondées se sont transformées en marécages (32,9 %). Les formations anthropisées, telles que les cultures et/ou jachères, ont conservé 73,2 % de leur superficie. Les savanes ont perdu 21,1 % de leur surface au profit de cultures et/ou jachères. Les plans d'eau et les marécages, quant à eux, ont conservé respectivement 10,2 % et 62,1 % de leur superficie durant cette période (tabl. 2).

Entre 2000 et 2018, les superficies des plans d'eaux, des savanes, des marécages et des cultures/jachères ont réduit respectivement de 49,3 %, 4,3 %, 68,6 % et 97,3 %. On note une augmentation des surfaces des forêts denses humides (59,8 %), des forêts temporairement inondées (6 %) et des forêts secondaires

	Forêt dense humide	Forêt temporai-rement inondée	Plan d'eau	Savane	Marécage	Forêt secondaire	Culture/ jachère
1985-2000	- 31,6	- 42,7	- 83,8	49,0	30,7	- 1,7	87,6
2000-2018	59,8	6,0	- 49,3	- 4,3	- 68,6	92,1	- 97,3
1985-2018	9,64	4,26	- 24,02	25,08	- 94,99	9,87	- 94,83

Figure 4
Taux de variation des classes d'occupation du sol.

Tableau 2
Matrice de transition de l'occupation du sol (%) entre 1985 et 2000.

1985 \ 2000	FDH	FTI	Pe	S	M	FS	C/J
FDH	**40,13**	7,59	1,45	0,03	0,27	12,10	0,44
FTI	21,5	**23,4**	13,0	0,3	2,5	9,6	1,0
Pe	0,2	0,1	**10,2**	1,8	0,0	0,0	0,1
S	2,6	3,2	11,5	**61,5**	6,9	0,2	0,4
M	6,8	32,9	45,7	14,7	**62,1**	10,4	8,1
FS	21,4	21,3	4,7	0,6	7,6	**55,9**	16,7
C/J	7,3	11,6	13,4	21,1	20,6	11,7	**73,2**
Total	100	100	100	100	100	100	100

FDH : forêt dense humide, FS : forêt secondaire, S : savane, FTI : forêt temporairement inondée, C/J : culture/jachère, M : marécage, Pe : plan d'eau.
Les nombres en gras indiquent les proportions n'ayant subi aucune variation.

(92,1 %) (fig. 4). La matrice de transition (tabl. 3) de l'occupation du sol entre 2000 et 2018 indique que 64,7 % des forêts denses humides sont intactes, tandis que le reste de sa superficie a été principalement converti en forêts secondaires (16,8 %) et en forêts temporairement inondées (17,1 %). De même, les forêts secondaires se sont transformées en forêts denses humides (26,4 %) et en forêts temporairement inondées (21,2 %) tout en conservant 47,6 % de leur superficie initiale. Les forêts temporairement inondées ont perdu la moitié de leur surface devenue des forêts denses humides (26,7 %) et des forêts secondaires (26,1 %). On observe une forte perte de superficie des savanes, converties à 51,2 % en marécages. Une majorité des marécages (63 %) est restée intacte tandis que

26,3 % ont évolué en forêts temporairement inondées. Quant aux plans d'eau, il ne reste que 14,8 % de leur surface de 2000. Les jachères/sols nus n'existent pratiquement plus (1,9 %).

Tableau 3
Matrice de transition de l'occupation (%) du sol entre 2000 et 2018.

2000 \ 2018	FDH	FS	S	C/J	M	Pe	FTI
FDH	**64,7**	26,4	1,7	7,5	4,8	23,8	26,7
FS	16,8	**47,6**	1,3	56,1	4,9	16,0	19,1
S	0,0	0,1	**34,3**	2,4	0,7	20,4	0,3
C/J	0,1	0,2	1,7	**1,9**	0,1	0,0	0,0
M	1,2	4,6	51,2	19,4	**63,0**	16,8	5,1
Pe	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	**14,8**	0,0
FTI	17,1	21,2	9,8	13,9	26,3	8,3	**48,7**
Total	100	100	100	100	100	100	100

FDH : forêt dense humide, FS : forêt secondaire, S : savane, FTI : forêt temporairement inondée, C/J : culture/jachère, M. : marécage, Pe : plan d'eau.
Les nombres en gras indiquent les proportions n'ayant subi aucune variation.

Entre 1985 et 2018, deux tendances d'évolution dans l'occupation du sol sont observées (fig. 4). D'une part, on observe une diminution de 24,02 %, 94,99 % et 94,83 % respectivement des plans d'eau, des marécages et des cultures et/ou jachères. D'autre part, on note une augmentation des surfaces des forêts denses humides (9,64 %), des forêts temporairement inondées (4,26 %), des forêts secondaires (9,87 %) et des savanes (25,08 %). La matrice de transition de cette période (tabl. 4) indique que 42,1 % des forêts denses humides sont restées intactes, tandis que le reste de leur superficie a été principalement converti en forêts secondaires (25 %) et en forêts temporairement inondées (23,1 %). De même, les forêts secondaires se sont transformées en forêts denses humides (29,4 %) et en forêts temporairement inondées (20,5 %), tout en conservant 42 % de leur superficie initiale.

Discussion

Dynamique de l'occupation du sol

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle des types d'occupation du sol au sein du PNA met en évidence deux processus d'évolution. D'une part, on observe la régression des écosystèmes forestiers (forêt dense, forêt secondaire et forêt temporairement inondée) de 1985 à 2000 au profit des cultures/jachères, et,

Tableau 4
Matrice de transition de l'occupation (%) du sol entre 1985 et 2018.

1985 \ 2018	FDH	FS	S	C/J	M	Pe	FTI
FDH	42,1	29,4	1,4	10,4	5,9	13,7	14,4
FS	25,0	42,0	2,9	76,1	14,0	14,9	11,4
S	0,6	0,1	56,0	0,2	1,6	4,8	0,4
C/J	0,1	0,2	0,4	3,2	0,5	0,5	0,1
M	9,2	7,8	37,8	7,4	58,4	45,4	29,8
Pe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0
FTI	23,1	20,5	1,5	2,7	19,6	15,9	43,9
Total	100	100	100	100	100	100	100

FDH : forêt dense humide, FS : forêt secondaire, S : savane, FTI : forêt temporairement inondée, C/J : culture/jachère, M. : marécage, Pe : plan d'eau.
Les nombres en gras indiquent les proportions n'ayant subi aucune variation.

d'autre part, l'augmentation de leurs surfaces entre 2000 et 2018. De façon globale, entre 1985 et 2018, on observe une forte diminution des surfaces cultivées au profit des forêts. On assiste donc à un processus de régénération de la forêt, ou de reprise de la forêt, sur les espaces anthropisés. La gestion efficiente du parc pourrait expliquer cette évolution positive des espaces forestiers. En effet, les autorités ont procédé en 1986 et 2000 aux déguerpissements des populations afin de freiner la dégradation des ressources naturelles et de favoriser la reconstitution du couvert végétal. Konan (2008) a observé une tendance générale de déforestation entre 1975 et 2000 (avant le déguerpissement de 2000). La tendance de reforestation observée entre 2000 et 2018 illustre l'effet positif de ce second déguerpissement. Ces résultats concordent avec les observations de Koffi (2016), qui a montré une tendance générale à la reconstitution de la forêt entre 1986 et 2016 (après déguerpissement). Un tel processus de reprise forestière nécessite la collaboration de plusieurs acteurs. Un rapport de la FAO (2005) souligne, en effet, une régénération remarquable des forêts de la réserve Periyar Tiger en Inde due à la collaboration entre les gouvernements, les écologistes, les communautés et l'industrie forestière.

Au niveau des savanes, il est constaté une tendance à la progression entre 1985 et 2000, qui s'inverse à partir des années 2000. Ces évolutions sont dues en partie au climat (température et pluviométrie), qui joue un rôle important dans la dynamique de ces formations végétales. Leurs conditions bioclimatiques sont définies par un régime saisonnier favorable à la croissance des plantes, provoquant des déficits d'humidité et un stress pendant la saison sèche (Cole, 1986). En dehors du facteur climatique, la dynamique des savanes pourrait être liée à l'action de l'homme, plus précisément aux activités des braconniers. Ces derniers mettent en effet le feu à la savane pour favoriser la régénération des herbes, afin d'attirer les animaux en quête d'herbes fraîches. Cette pratique,

déjà évoquée par Koffi (2016), continue malheureusement d'être utilisée aujourd'hui.

Nous constatons également, une tendance à la régression des plans d'eau et des marécages de 1985 à 2018. Cette régression de la superficie des zones humides est probablement due à une diminution des précipitations durant cette période. Comme l'indiquent les différents scénarios climatiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec, 2007), les zones humides sont parmi les écosystèmes les plus vulnérables au changement climatique, la dégradation et la perte de ces milieux étant plus rapides que celles de tout autre écosystème.

Conclusion

La présente étude a permis d'identifier en 2018 sept types d'occupation du sol dans le parc national d'Azagni (PNA), à savoir les forêts temporairement inondées (29,10 %), les marécages (24,26 %), les forêts secondaires (23,87 %), les forêts denses humides (19,79 %), les savanes (2,36 %), les cultures/jachères (0,54 %) et les plans d'eau (0,09 %). Cette étude a également mis en évidence la dynamique évolutive de la végétation du PNA pendant trente-trois années, de 1985 à 2018. Ainsi, grâce aux matrices de transition, nous avons identifié deux grandes évolutions qui sont (1) la régression des écosystèmes forestiers au profit des cultures entre 1985 et 2000, puis (2) une augmentation des surfaces forestières entre 2000 et 2018. On observe une transformation des forêts secondaires en forêts denses (26,4 %), des cultures et/ou jachères en forêts secondaires (56,1 %) et des marécages en forêts temporairement inondées (26,3 %). Le déguerpissement des populations de l'intérieur du PNA par les autorités a favorisé la reconversion des espaces anciennement cultivés en espaces de forêts, d'où l'augmentation des superficies forestières. Ces résultats positifs concernant l'évolution de la dynamique forestière ne doivent pas nous faire perdre de vue les indices d'activités anthropiques observés au sein du parc. Ainsi, au risque d'assister à une nouvelle régression des surfaces forestières, l'Office ivoirien des parcs et réserves (OIPR) se doit d'accentuer la surveillance du parc et de continuer la sensibilisation des populations riveraines.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour le financement octroyé pour la réalisation de ce projet. Ils remercient les membres de l'équipe de recherche « Biodiversité et valorisation

des services écosystémiques » (Biovalse) pour le travail de terrain. Les auteurs remercient également l'Office ivoirien des parcs et réserves (OIPR) pour avoir autorisé l'accès au parc national d'Azagny.

Références bibliographiques

Bamba I., 2010
Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République démocratique du Congo. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles, 191 p.

Chatelain C., 1996
Possibilités d'application de l'imagerie à haute résolution pour l'étude de la transformation de la végétation en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat ès-Sciences, université de Genève, 206 p.

Cole M., 1986
Savannas: biogeography and geobotany. Academic Press, Londres, 438 p.

Eldin M., 1971
« Le climat ». *In* Avenard J. M. *et al*. (éd.) : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Mémoires Orstom, Paris : 75-108.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1996
Forest resources assessment 1990. Survey tropical forest cover studies of change processes. *FAO Forestry Paper*, 130. Rome. [en ligne] www.fao.org/docrep/007/w0015e/w0015e00.htm (dernière visite : 12/01/2018)

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2005
The state of food and agriculture. Rome, 221 p.

Foody G. M., 2002
Status of land covers classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80 : 185-201.

Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007
Bilan des changements climatiques. Contribution du groupe de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 103 p.

Guillaumet J.-L., Adjanohoun E., 1971
« La végétation de la Côte d'Ivoire ». *In* Avenard J. M. *et al.* (éd.) : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Mémoires Orstom, Paris : 155-261.

Hadjadj M. F., 2011
Apport des SIG et des images satellites pour la cartographie numérique de la forêt du Chettabah (Wilaya de Constantine) : modélisation climatique et classification. Mémoire de fin d'études, université El-Hadj Lakhdar Batna, Constantine, 178 p.

Koffi K. A. D., 2016
Dynamique de la végétation et valeurs de conservation des espaces anciennement cultivés du parc national d'Azagny (sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, UFR Biosciences, université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 214 p.

Koffi K. A. D., Adou Yao C. Y., Vroh B. T. A., Gnagbo A., N'Guessan K. E., 2015
Diversités floristique et structurale des espaces anciennement cultivés du parc national d'Azagny (sud de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research,* 134 (4) : 415-427.

Konan K. E., 2008
Conservation de la diversité végétale et activités humaines dans les aires protégées du sud forestier ivoirien : l'exemple du parc national d'Azagny. Thèse unique, université de Cocody-Abidjan, 269 p.

Kouame D., 2009
*Rôle des animaux frugivores dans la régénération et la conservation des forêts classées : cas de l'éléphant (*Loxodonta africana cyclotis *Mztschié, 1900) dans le parc national d'Azagny (sud-est de la Côte d'Ivoire).* Thèse de doctorat, université de Cocody-Abidjan, 215 p.

Lauginie F., 2007
Conservation de la nature et aires protégées en Côte d'Ivoire. NEI/Hachette et Afrique Nature, Abidjan, 668 p.

Monget J-M., Poisson M., Verger F., 1980
La cartographie de la forêt de Chizé par télédétection. *Annales des Mines*, 4 (6) : 182-190.

N'Da D. H., N'Guessan K. E., Wadja E. M., Kouadio A., 2008
Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télédétection*, 8 (1) : 17-34.

Oszwald J., 2005
Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000). Suivi par télédétection et développement d'une méthode cartographique. Thèse de doctorat de géographie, université de Lille 1, 302 p.

Oszwald J., Lefebvre A., Arnauld de Sartre X., Gond V., Thalès M., Fretas R. L., 2010
Analyse des directions de changement des états de surface végétaux pour renseigner la dynamique du front pionnier de Maçaranduba (Brésil) entre 1997 et 2006. *Télédétection, Éditions scientifiques GB*9 (2) : 97-111.

Roth H. H., Mulhenberg M., Roben P., Steinhauer B., 1979
État actuel des parcs nationaux de la Comoé et de Taï ainsi que la réserve d'Azagny et propositions visant à leur conservation et à leur développement aux fins de promotion du tourisme. Tome IV : Réserve d'Azagny. FGU Kronberg, Abidjan, 164 p.

Sangne C., Barima Y., Bamba I., N'Doumé C., 2015
Dynamique forestière post-conflits armés de la forêt classée du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, 15 (3).

Schlaepfer R., 2002
Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, laboratoire de gestion des écosystèmes, École polytechnique de Lausanne, 10 p.

Chapitre 38

Dynamique de la reprise de la végétation dans des parcelles permanentes cultivées

Forêt classée du Haut-Sassandra, Côte d'Ivoire

Kouame Jean Marc Kouman
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Kouassi Bruno Kpangui
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Yao Sadaiou Sabas Barima
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire

Introduction

Les forêts ivoiriennes sont sujettes à diverses pressions anthropiques telles que l'agriculture extensive sur brûlis, les plantations agro-industrielles (Goné Bi *et al*., 2013) et l'exploitation incontrôlée des produits forestiers (Apema *et al*., 2010). Ces pressions se sont généralisées et accentuées dans les aires protégées depuis 2002 – début de la crise politico-militaire en Côte d'Ivoire –, du fait de l'absence d'autorités de gestion dans certaines zones (Barima *et al*., 2016). Ces forêts ont été infiltrées illégalement par les populations pour y développer des activités agricoles (Barima *et al*., 2016). Ainsi, la couverture forestière de plusieurs espaces protégés a disparu au profit de plantations agricoles. Cette agriculture influence la qualité du sol et la composition floristique, compromettant la régénération naturelle des espèces locales et la restauration du couvert végétal (Amaral *et al*., 2019).

La compréhension et le suivi de la dynamique post-culturale des forêts sont fondamentaux pour conduire, planifier et établir des stratégies de reconstitution

forestière. Pour cela, il est nécessaire de comprendre les processus écologiques (Phillips et Gentry, 1994) de reconstitution naturelle des forêts, tels que le recrutement, la mortalité, la croissance (Laurance *et al*., 2009) et le maintien de la richesse floristique (Baker *et al*., 2004). En plus de générer des bénéfices sociaux et économiques, la reconstitution du couvert forestier contribue au maintien des forêts, à la conservation de la biodiversité, à la séquestration du carbone atmosphérique et à la conservation des produits forestiers ligneux et non ligneux (Amaral *et al*., 2019).

Située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, la forêt classée du Haut-Sassandra (FCHS) n'échappe pas à ce phénomène de dégradation et de déforestation. Cette forêt, qui était encore au début des années 2000 l'un des vestiges de la forêt primaire dense humide semi-décidue, a depuis perdu plus de 70 % de son couvert forestier au profit de la culture cacaoyère (Barima *et al*., 2016). Cette déforestation est très préoccupante, et il est désormais urgent de restaurer cet écosystème. L'une des actions à mener pour restaurer le couvert forestier est de déloger, par la force, les populations installées clandestinement dans la forêt classée. Cette solution brutale a été mise en œuvre dans d'autres forêts de la région, comme dans le parc national du Mont Péko (Ousmane *et al*., 2020). Cependant avant de l'appliquer, il est important de savoir si l'absence de pressions anthropiques sur cette forêt permettra effectivement sa reconstitution naturelle. Pour répondre à cette interrogation, un dispositif de parcelles permanentes a été installé en 2017 dans la FCHS, afin de réaliser le suivi de la reprise naturelle de la végétation et de proposer des solutions concrètes en vue de la reconstitution du couvert forestier. Ces parcelles ont été soumises à différents traitements culturaux pour aider *in fine* le gestionnaire à définir les mesures les plus efficaces pour restaurer au mieux le couvert forestier originel.

Cette étude a eu pour objectif d'analyser la dynamique de la végétation de ces parcelles permanentes installées dans la forêt classée du Haut-Sassandra et soumises à différents traitements agricoles. Ses objectifs spécifiques étaient, d'une part, d'évaluer l'évolution de la richesse spécifique des ligneux ainsi que la structure de la végétation et, d'autre part, d'analyser la mortalité et le recrutement des arbres.

Matériels et méthodes

Site d'étude

La forêt classée du Haut-Sassandra, située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, entre les départements de Vavoua et de Daloa, s'étend sur une superficie de 102 400 ha (fig. 1). Sa végétation appartient à la zone des forêts denses humides semi-décidues caractérisées par *Celtis* spp. et *Triplochiton scleroxylon* (Kouame, 1998). Elle est soumise à un climat tropical humide. Sa pluviométrie moyenne

annuelle est de 1 547,32 mm mm, avec un minima de 6,73 mm et un maxima de 103,58 mm. Le sol y est de type ferralitique remanié, favorable à l'installation des cultures pérennes de rente comme le cacaoyer.

Figure 1

Localisation de la forêt classée du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire et des parcelles permanentes.

Dispositif expérimental

Le dispositif installé dans la FCHS depuis 2017 est constitué de douze parcelles permanentes de 50 m x 50 m subdivisées chacune en quatre sous-parcelles élémentaires (placettes) de 25 m x 25 m. Ces parcelles permanentes ont subi quatre traitements (T). Le premier (T1) a concerné trois parcelles de cacaoyers soumises aux traitements habituels de la culture du cacao : désherbage, récolte de cabosses et autres activités agricoles. Le deuxième traitement (T2) a également concerné trois parcelles de cacaoyers, mais aucun entretien n'a été mené, seules

les cabosses de cacao ont été récoltées. Le troisième traitement (T3), appliqué dans trois autres parcelles, a consisté en une mise en défens (aucune activité agricole n'a été autorisée). Le dernier traitement (T4) a concerné trois autres parcelles installées dans des reliques de forêts qui servent de témoin.

Collecte des données

Les données recueillies dans cette étude sont issues de neuf trimestres d'inventaire floristique de ces parcelles permanentes. Le premier inventaire, réalisé en décembre 2017, a concerné tous les arbres avec un diamètre minimal à hauteur de poitrine (DBH) de 5 cm. Les arbres de DBH supérieur ou égal à 5 cm ont été identifiés, mesurés et étiquetés. L'étiquette sur chaque arbre indiquait le nom de l'espèce, le type de traitement effectué et le numéro de l'arbre. L'inventaire a été ensuite renouvelé tous les trimestres. Au cours de chaque nouvel inventaire, les arbres ayant atteint le DBH minimum (5 cm) ont été ajoutés à la liste floristique, tandis que les arbres morts (mortalité) en ont été exclus.

Analyse des données

Le nombre total d'espèces recensées au cours de chaque inventaire a été évalué selon chaque traitement. Le système de classification « *Angiosperm Phylogeny Group III* » (APG III) a été adopté pour les familles des espèces végétales.

Les paramètres structuraux de la végétation selon les traitements ont été évalués par la densité (D), qui est le nombre de tiges par unité de surface, et par l'aire basale (A), qui est la somme des surfaces de la section des troncs de tous les arbres à hauteur de poitrine (Kouame, 1998). Les formules suivantes ont été utilisées pour calculer ces deux paramètres :

$$D = N/S$$
$$A = d^2\pi/4$$

où *D* est la densité, *N* le nombre de tiges inventoriées et *S* la surface totale (ha), et où *A* est l'aire basale et *d* le diamètre à hauteur de poitrine.

Le recrutement (TR) est le passage d'un individu au-delà d'un certain seuil de diamètre (Bedel *et al.,* 1998). Plusieurs travaux portant sur le recrutement des jeunes tiges forestières fixent ce seuil à 10 cm (Yedmel *et al*., 2010 ; Amaral *et al.,* 2019). Dans cette étude, nous avons fixé le seuil à 5 cm de diamètre. Ce choix s'est basé sur le pas de temps entre deux campagnes d'inventaire et sur le nombre très réduit d'individus adultes dans les plantations cacaoyères. Le recrutement a été calculé grâce à la formule suivante :

$$\text{TR (\%)} = 100 \times \frac{Nr}{N0 + N1}$$

où *N0* est l'effectif d'individus de DBH supérieurs à 5 cm au trimestre 0, *N1* l'effectif au trimestre 1, et *Nr* l'effectif des recrus entre les trimestres 0 et 1.

Le taux de mortalité (TM) est le rapport entre le nombre d'arbres morts de DBH supérieur à 5 cm et le nombre d'arbres vivants de DBH supérieur à 5 cm du trimestre *t* (Bedel *et al.,* 1998).

$$\text{TM (\%)} = 100 \times \frac{Nm}{Nt}$$

où *Nt* est l'effectif total et *Nm* l'effectif des survivants de la population de départ.

Traitement statistique des données

Les moyennes de densité, de l'aire basale, du taux de mortalité et du recrutement, ont été comparées selon les traitements et pour chaque trimestre, à travers des tests d'analyse de variance à un facteur (Anova 1). Le niveau de significativité choisi pour ces analyses, est de 5 % (p = 0,05). Lorsque la différence est significative, un test de Newman-Keuls a été effectué afin de comparer deux à deux les moyennes et apprécier les différences significatives qui existent entre celles-ci. Les analyses ont été effectuées en utilisant le logiciel Statistica 7.1.

Résultats

Richesse spécifique et densité

Pendant toute la période de l'étude, un nombre d'espèces ligneuses plus important est observé dans les parcelles témoins. Le plus faible nombre est obtenu dans les parcelles T1 (fig. 2). On observe une augmentation du nombre d'espèces au cours du temps quel que soit le traitement. Les parcelles T3 enregistrent un nombre élevé d'espèces ligneuses comparativement aux traitements 1 et 2. Cependant, le traitement 2 enregistre le plus fort taux d'augmentation du nombre d'espèces (350 %). À l'inverse, le nombre d'espèces des parcelles témoins augmente le moins.

Les valeurs moyennes de densité varient selon le traitement durant la période de suivi (fig. 3). Les parcelles témoins enregistrent les plus fortes densités moyennes durant tout le suivi. Les plus faibles densités moyennes sont obtenues avec le traitement 1. On enregistre une forte évolution du nombre d'arbres avec les traitements 2 et 3. La densité moyenne avec le traitement 2 augmente dans le temps : de 40 tiges/ha à l'installation des parcelles jusqu'à 197,33 tiges/ha à 12 mois, puis 413,33 tiges/ha à 27 mois. Avec le traitement 3, la densité augmente également : de 53,33 tiges/ha (à l'installation des parcelles) à 194,66 tiges/ha (après 12 mois), puis 608 tiges/ha (après 27 mois).

Figure 2

Évolution du nombre d'espèces au cours du temps selon les traitements.

T1 : plantations cacaoyères régulièrement entretenues et récoltées par les paysans.
T2 : plantations cacaoyères récoltées et non entretenues.
T3 : plantations cacaoyères mises en défens.
Témoin : relique forestière.

Figure 3

Évolution de la densité moyenne des arbres au cours du temps selon les traitements.

T1 : plantations cacaoyères régulièrement entretenues et récoltées par les paysans.
T2 : plantations cacaoyères récoltées et non entretenues.
T3 : plantations cacaoyères mises en défens.
Témoin : relique forestière.
Les lettres a, b, c et d désignent les différences significatives entre les traitements.
Les traitements surmontés de la même lettre ne sont pas significativement différents.

Aire basale

L'aire basale moyenne varie dans le temps selon le traitement. Les parcelles témoins enregistrent les plus fortes valeurs durant toute la période du suivi. Durant les 12 premiers mois, les parcelles T2 présentent les plus faibles valeurs moyennes comparativement aux autres traitements. L'aire basale moyenne avec les traitements 2 et 3, augmente en fonction du temps. La plus forte évolution de l'aire basale moyenne (258,44 %) est obtenue avec le traitement 2. Cependant, le traitement 1 enregistre des valeurs sensiblement identiques durant tout le suivi (fig. 4).

Figure 4

Évolution de l'aire basale moyenne des arbres au cours du temps selon les traitements.

T1 : plantations cacaoyères régulièrement entretenues et récoltées par les paysans.
T2 : plantations cacaoyères récoltées et non entretenues.
T3 : plantations cacaoyères mises en défens.
Témoin : relique forestière.
Les lettres a et b désignent les différences significatives entre les traitements.
Les traitements surmontés de la même lettre ne sont pas significativement différents.

Taux de mortalité et de recrutement

La mortalité la plus importante se rencontre dans les parcelles T1 au cours des premier et huitième trimestres (respectivement 16,66 et 25 %). Cependant, au cours des troisième et quatrième trimestres, le taux de mortalité est nul avec les traitements 1, 2, et 3. La mortalité est également nulle avec le traitement 2 au cours des quatre premiers trimestres (fig. 5).

Le taux de recrutement varie d'un trimestre à un autre selon le traitement. Les parcelles témoins enregistrent les plus faibles taux de recrutement durant toute la période de suivi (fig. 6). Au cours des trois premiers trimestres, les parcelles T1 présentent un taux de recrutement nul. Cependant, au cours du quatrième trimestre, celles-ci présentent le taux le plus élevé (66,66 %). On constate ensuite une diminution avec le traitement 1 au cours du temps. Les parcelles T3 voient leur recrutement augmenter, alors que les parcelles T2 présentent une diminution de ce taux.

Figure 5

Évolution du taux de mortalité au cours du temps selon les traitements.

T1 : plantations cacaoyères régulièrement entretenues et récoltées par les paysans.
T2 : plantations cacaoyères récoltées et non entretenues.
T3 : plantations cacaoyères mises en défens.
Témoin : relique forestière.
Les lettres a et b désignent les différences significatives entre les traitements.
Les traitements surmontés de la même lettre ne sont pas significativement différents.

Figure 6

Évolution du taux de recrutement au cours du temps selon les traitements.

T1 : plantations cacaoyères régulièrement entretenues et récoltées par les paysans.
T2 : plantations cacaoyères récoltées et non entretenues.
T3 : plantations cacaoyères mises en défens.
Témoin : relique forestière.
Les lettres a, b et c désignent les différences significatives entre les traitements.
Les traitements surmontés de la même lettre ne sont pas significativement différents.

Discussion

Les résultats montrent que, durant la période de suivi, les parcelles permanentes installées dans les reliques de forêt (témoins) présentent une forte densité des individus et une importante richesse spécifique, comparativement aux parcelles installées dans les cacaoyères. Les fragments de forêt sont les milieux les plus riches floristiquement ; ils conservent aujourd'hui les caractéristiques d'une forêt naturelle, confirmant ainsi que les fragments forestiers constituent des refuges pour une grande quantité d'espèces végétales (Soares *et al*., 2015). Cependant, la richesse spécifique de ces forêts augmente faiblement au fil du temps. Le faible nombre d'arbres dans les cacaoyères entretenues et exploitées (parcelles T1) est dû à l'entretien répété et à la récolte des cabosses. La forte augmentation du nombre d'espèces dans les plantations sans activité agricole (parcelles T2) s'explique par la suppression du désherbage, ce qui favorise l'installation et le développement des espèces pionnières dans la succession post-culturale. En effet, ces espèces s'installent très rapidement après abandon cultural (Kouassi *et al.,* 2009). Ce résultat montre que l'abandon des cultures permet une recolonisation progressive des milieux en prélude à la régénération de la forêt. En effet, selon Alexandre (1989), après l'abandon de la cacaoculture, la végétation évolue rapidement ; elle est dominée successivement par une ou plusieurs vagues d'herbacées très éphémères, puis par des sous-arbustes, des arbustes et, enfin, par des arbres qui atteignent de grandes tailles. Randriamalala *et al.* (2012) ont obtenu un résultat similaire dans des jachères au sud-ouest de Madagascar, avec une richesse floristique qui augmente au cours du temps après l'abandon des cultures.

La densité moyenne des ligneux dans les cacaoyères soumises aux activités agricoles (parcelles T1) reste faible pendant toute la période du suivi. Cependant, une forte évolution est enregistrée avec les traitements 2 et 3, comparativement aux autres traitements. La faible densité des ligneux dans les cacaoyères T1 témoigne de l'intensité des perturbations liées aux pratiques culturales. En effet, l'entretien répété des cultures et la récolte des cabosses cacaoyères éliminent les espèces végétales, notamment ligneuses (Kpangui *et al.,* 2015). La forte augmentation de l'aire basale avec les traitements 2 et 3, s'explique par une importante installation des ligneux consécutive à l'absence de désherbage, ce qui permet la conservation des espèces qui se développent naturellement dans le milieu.

Le taux de recrutement est plus élevé que la mortalité au cours des 27 mois de suivi, quel que soit le traitement. Cependant, une augmentation du taux de mortalité et une diminution du taux de recrutement sont observées dans les cacaoyères T1. Cette forte mortalité confirme l'élimination des arbres par les paysans lors de l'entretien des parcelles, afin de favoriser une forte production des cacaoyers matures. En effet, selon Jérémie *et al*. (2017), certains arbres associés ont un effet négatif sur le développement des cacaoyers et sur leur rendement. S'il a été démontré que le taux de mortalité d'un peuplement découle

naturellement de sa structure et de son âge (Brang *et al.,* 2011), la réduction du recrutement des arbres dans les cacaoyères montre que la cacaoculture ne favorise pas la reconstitution de la végétation. En effet, le faible taux de recrutement dans les cacaoyères récoltées et entretenues (T1) au cours des quatre premiers trimestres en est la preuve. Par ailleurs, le recrutement élevé dans les cacaoyères non entretenues (parcelles T2) pourrait s'expliquer par l'élimination des lianes sur les cacaoyers au cours de la récolte des cabosses cacaoyères. En effet, selon Hawthorne *et al.* (2012), les lianes perturbent la régénération des arbres, retardant ainsi leur croissance. Le taux de mortalité observé dans les parcelles témoins (T4) est de moins de 10 % pendant toute la période de suivi. Dans les cacaoyères mises en défens (parcelles T3), l'augmentation du taux de recrutement est due à l'abandon des activités agricoles. Finalement, cette étude permet d'affirmer que, malgré les importantes activités agricoles, la FCHS regorge encore de semences dormantes d'espèces forestières en attente de conditions propices pour se développer, comme les travaux d'Alexandre (1989) l'ont déjà démontré.

Conclusion et perspectives

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la capacité de la forêt classée du Haut-Sassandra à se régénérer naturellement en présence de différents traitements agricoles. Durant toute la période du suivi, le nombre d'espèces a été plus important dans les reliques forestières que dans les cacaoyères. Le nombre d'espèces a augmenté de 3,2 % dans les parcelles témoins durant le suivi. Dans les cacaoyères récoltées et non entretenues, la richesse spécifique a augmenté de 350 %. Les cacaoyères mises en défens présentent une augmentation de 1 040 % de densité moyenne et de 148 % de leur aire basale moyenne. Une augmentation du taux de mortalité et une réduction du taux de recrutement sont observées dans les cacaoyères entretenues durant la période de suivi. Les cacaoyères mises en défens enregistrent, quant à elles, une augmentation du taux de recrutement dans le temps. En conclusion, après deux années d'observation, une reprise naturelle du couvert de la FCHS serait possible à condition que les défrichements soient interdits dans les cacaoyères. Les populations pourraient en effet continuer à récolter les cabosses. Ce suivi des parcelles devrait être continué dans l'avenir, afin de mieux comprendre le processus de reconstitution naturelle de la végétation et de prédire son évolution à long terme.

Remerciements

La présente étude a été réalisée dans le cadre du projet « Une reconstitution naturelle de la forêt classée du Haut-Sassandra après abandon des activités agricoles est-elle possible ? » (RNFCHS), soutenu par le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) (cofinancement Agence française de développement, Fonds français pour l'environnement mondial, ministère de l'Europe et des Affaires étrangères, Institut de recherche pour le développement et Muséum national d'histoire naturelle de Paris), mis en œuvre par l'IRD. Ce projet est le fruit d'une collaboration importante entre le Groupe de recherche interdisciplinaire en écologie du paysage et en environnement (Griepe), de l'université Jean Lorougnon Guédé et la Société de développement des forêts (Sodefor).

Références bibliographiques

Alexandre D. Y., 1989
Dynamique de la régénération naturelle en forêt dense de Côte-d'Ivoire. Coll. Études et thèses, Orstom, Paris, 102 p.

Amaral M. R., Lima A. J., Higuchi F. G., Dos Santos J., Higuchi N., 2019
Dynamics of tropical forest twenty-five years after experimental logging in Central Amazon mature forest. *Forests,* 10 (2) : 1-89.

Apema R., Mozouloua D., Madiapevo S. N., 2010
« Inventaire préliminaire des fruits sauvages comestibles vendus sur les marchés de Bangui ». *In* van der Burgt X., van der Maesen J., Onana J.-M. (éd.) : *Systémique et conservation des plantes africaines*, Royal Botanic Gardens Éditions, Belgium : 313-319.

Baker T. R., Phillips O. L., Malhi Y., Almeida S., Arroyo L., Di Fiore A., Erwin T., Higuchi N., Killeen T. J., Laurance S. G., Laurance W. F., Lewis S. L., Monteagudo A., Neill D. A., Núñez Vargas P., Pitman N. C. A., Silva J. N. M., Vásquez Martínez R., 2004
Increasing biomass in Amazonian forest plots. Philosophical transactions. *Biological Sciences*, 359 (1443) : 353-365.

Barima Y. S. S., Kouakou A. T. M., Bamba I., Sangne Y. C., Godron M., Andrieu J., Bogaert J., 2016
Cocoa crops are destroying the forest reserves of the classified forest of Haut-Sassandra (Ivory Coast). *Global Ecology and Conservation*, 8 : 85-98.
DOI : 10.1016/j.gecco.2016.08.009

Bedel F., Durrieu D. M. L., Dupuy B., Favrichon V., Maitre H. F., Barhen A., Narboni P. (éd.), 1998
Dynamique de croissance dans des peuplements exploités et éclaircis de forêt dense à Mcaine : le *dispositif de M'Baiki en République centrafricaine.* Cirad, Montpellier, 71 p.

Brang P., Heiri C., Bugmann H. (éd.), 2011
Waldreservate 50 Jahre natürliche Waldentwicklung in der Schweiz. Haupt, Bern, 272 p.

Goné Bi Z. B., Kouame D., Koné I., Adou Yao C. Y., 2013
Diversité végétale et valeur de conservation pour la biodiversité du parc national du Mont Péko, Côte d'Ivoire. *International Journal of Applied Biosciences*, 71 : 5753-5762.

Hawthorne W. D., Sheil V. K. D., Agyeman M. A. J., Marshall C. A. M., 2012
Logging scars in Ghanaian high forest: towards improved models for sustainable production. *Forest Ecology and Management,* 271 : 27-36. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.036

Jérémie G. B. T., Bohoussou N. Y., Akotto O. F., Yao-Kouamé A., 2017
Impact des arbres associés sur l'exploitation cacaoyère dans les zones de transition forêt-savane : cas de M'Brimbo (centre-sud de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 13 (1) : 1-164. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n1p164

Kouamé N. F., 1998
Influence de l'exploitation forestière sur la végétation et la flore de la forêt classée du Haut-Sassandra (centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat de 3e cycle, université Cocody-Abidjan, 227 p.

Kouassi K. H., Koffi N., Modeste G., Konan K., 2009
Flore post-culturale en zone de forêt dense semi-décidue de Côte d'Ivoire. *International Journal of Applied Biosciences*, 19 : 1026-1040.

Kpangui K. B., Kouame D., Goné B. Z. B., Vroh B. T. A., Koffi B. J. C., Adou Yao C. Y., 2015
Typology of cocoa-based agroforestry systems in a forest-savannah transition zone: case study of Kokumbo (Centre, Côte d'Ivoire). *International Journal of Agricultural Research,* 6 (3) : 36-47.

Laurance S. G. W., Laurance W. F., Nascimento H. E. M., Andrade A., Phillips M., Rebello E. R. G., Condit R., 2009
Long-term variation in Amazon forest dynamics. *Journal of Vegetation Science,* 20 : 323-333.

Ousmane S., N'da Dibi H., Kouassi K. H., Kouassi K. É., Ouattara K., 2020
Crises politico-militaires et dynamique de la végétation du parc national du Mont Péko en Côte d'Ivoire. *Bois et forêts des tropiques,* 343 : 27-37.

Phillips O. L., Gentry A. H., 1994
Increasing turnover through time in tropical forests. *Science,* 263 : 954-958.

Randriamalala R. J., Hervé D., Randriamboavonjy J. C., Carrière S. M., 2012
Effects of tillage regime, cropping duration and fallow age on diversity and structure of secondary vegetation in Madagascar. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 155 : 182-193.

Soares N. S., Gonçalves C. A., Araújo G. M., Lomônaco C., 2015
Floristic composition and abundance in forest fragments: a case study from Southern Goiás, Brazil. *Bioscience Journal*, 31 (4) : 1238-1252.

Yedmel M. S. C., Kadio A. A., Hardy O. J., Kouame N. F., Barbier N. S., 2010
Impact of fire on the structure and floristic composition of a forest stand in Côte d'Ivoire and interaction with silvicultural treatments. *Canadian Journal of Forest Research,* 40 (10) : 1904-1913.

Chapitre 39

Influence des espèces pionnières facilitatrices sur la recolonisation forestière

Elie Ramiarana
Issedd, CNRE, Madagascar

Herizo Randriambanona
Issedd, CNRE, Madagascar

Dominique Hervé
IRD, France

Heriniaina Ramanankierana
Issedd, CNRE, Madagascar

Introduction

Les changements rapides et continus du climat mondial ont provoqué d'importants changements dans la répartition des espèces (Parmesan et Yohe, 2003). Compte tenu des activités anthropiques, la déforestation et la fragmentation de l'habitat peuvent avoir un impact sur les trajectoires et les résultats de la restauration forestière (Allan, 2004 ; Tscharntke *et al.,* 2005). L'intensification de l'utilisation des terres (cultures répétées après brûlis) peut entraîner la faible recolonisation des espèces herbacées (Brudvig, 2011), l'homogénéisation des conditions abiotiques locales (Vellend *et al.,* 2007), la diminution de la connectivité du paysage (Tscharntke *et al.,* 2005) et la limitation de la dispersion des plantes (Hermy et Verheyen, 2007). En revanche, la succession végétale secondaire peut être favorisée par la colonisation d'espèces qui améliorent les conditions physiques du site et la disponibilité des ressources (eau et sol) (Milbrandt et Tinsley, 2006). Plusieurs essais de restauration d'une végétation autochtone ont été réalisés (Sheley *et al.,* 2009), avec des études sur les éléments nutritifs du sol (Ruwanza *et al.,* 2012), sur la nucléation (Reis

et al., 2010) et l'ensemencement (Simons et Allsopp, 2007 ; Sovu *et al.,* 2010 ; Van der Vyver *et al.,* 2012). Peu d'études, en revanche, ont examiné le rôle des plantes pionnières dans la facilitation de la restauration des sols dégradés et de la végétation des anciens champs (Simons et Allsopp, 2007 ; Rens *et al.,* 2008). La plupart des études sur la restauration écologique se sont principalement concentrées sur la compétition entre plantes, sans prendre en compte les synergies entre espèces qui facilitent la restauration de la végétation (Rens *et al.,* 2008). En effet, des interactions positives entre espèces forestières autochtones et espèces pionnières facilitatrices déclenchent un processus d'amélioration de la qualité des sols à la base de la restauration écologique des zones dégradées (Rens *et al.,* 2008 ; Siles *et al.,* 2008). Les espèces pionnières sont en effet des espèces capables d'influencer d'une manière favorable la restauration de l'environnement dégradé (Zhao *et al.,* 2007 ; Baohanta *et al*., 2012 ; Ramanankierana *et al.,* 2014).

Cette étude a eu pour objectif principal d'évaluer l'effet de l'établissement de trois espèces arbustives pionnières facilitatrices sur l'amélioration de l'activité microbienne du sol et sur la survie de trois espèces forestières autochtones. L'hypothèse de départ était que les espèces pionnières facilitatrices améliorant l'activité microbienne, leur présence est nécessaire pour réussir la restauration écologique.

Matériels et méthodes

Matériels

Trois espèces arbustives pionnières facilitatrices phanérophytes ont été choisies, à savoir *Solanum torvum* Sw. (Solanaceae), *Psiadia altissima* (D. C.) Drake (Asteraceae) et *Clidemia hirta* (L.) D. Don. (Melastomataceae) (Raunkiaer *et al*., 1934).

Les trois espèces forestières autochtones phanérophytes choisies ont été *Tricalysia leucocarpa* (Baill.) Randriamb. et De Block. (Rubiaceae), *Dombeya laurifolia* (Bojer) Baill. (Malvaceae) et *Pittosporum ochrosiifolium* Bojer. (Pittosporaceae) (Raunkiaer *et al*., 1934).

Les critères de choix des espèces sont la disponibilité de sauvageons en quantité suffisante et leurs usages. Ces sont des espèces multi-usages. *P. ochrosiifolium* est utilisée en médecine traditionnelle : infection oculaire, toux… et dans les rites de possessions (*tromba*), les feuilles sèches brûlées ont la propriété de faire taire les enfants la nuit (Sattler et Razafindravao, 2017). La fibre de l'écorce *D. laurifolia* est employée pour la confection de cordages, le bois s'utilise en construction et pour faire des planches, pour la production de boîtes et de caisses.

Site d'étude

Le prélèvement des échantillons de sol, de sauvageons des plantes pionnières facilitatrices et des espèces forestières autochtones a été réalisé dans le fragment forestier de Vohilahy (75,2 ha en 2018) à proximité du village d'Ankorabe (S18°56'37" ; E48°46'30" ; 127 m d'altitude), dans la commune rurale de Ranomafana-Est, district de Brickaville, situé à 200 km à l'est d'Antananarivo à Madagascar. Les analyses microbiologiques du sol et l'évaluation de la biomasse aérienne des plantes ont été réalisées au Laboratoire en microbiologie de l'environnement (LME) du Centre national de recherche sur l'environnement (CNRE) à Antananarivo.

Échantillonnage du sol

Trois types de sol ont été échantillonnés : un sol forestier (provenant d'une forêt secondaire de plus de 50 ans, AJ > 50) et deux sols dégradés des environs de Vohilahy (sols de jachères de 0 à 5 ans et de 5 à 10 ans). Chaque type de sol a été mis en pot en pépinière (36 pots pour chacun des types) pendant six mois. Trois réplicas ont été réalisés par type de sol, soit au total neuf réplicas.

Les activités microbiennes globales et les activités des phosphatases microbiennes des différents types de sol ont ensuite été évaluées. L'activité microbienne globale a été mesurée à travers la capacité du sol à hydrolyser la fluorescéine diacétate (ou 3',6'-diacetyl fluorescéine, FDA) selon la méthode décrite par Alef (1998). L'activité des phosphatases microbiennes du sol a été mesurée grâce à l'hydrolyse de p-nitrophenylphosphate (pNPP) par les phosphatases d'origine microbienne du sol (Tabatabai, 1982). La quantité du produit de l'hydrolyse du p-NPP, en milieu acide (ou phosphatase acide, P AC) et alcalin (ou phosphatase alcalin, P AL), est exprimée en microgrammes (µg) de p-nitrophenol par gramme de sol sec.

Expérimentation en co-culture

Une expérimentation en co-culture de deux espèces différentes (une espèce pionnière et une espèce forestière autochtone cible) a été réalisée sur les trois types de sol dans la pépinière d'Ankorabe (à proximité du fragment forestier de Vohilahy), afin de déterminer l'effet de l'implantation des trois espèces d'arbustes pionnières facilitatrices sur le taux de survie et le développement des jeunes plants forestiers autochtones.

Pour cela, 81 individus par espèce pionnière, âgés de 1 à 3 mois environ et d'une taille de 10 à 20 cm ont été utilisés, ainsi que 108 individus par espèce forestière autochtone mesurant de 10 à 20 cm de hauteur. Les co-cultures ont été mises dans des pots de 18 cm de hauteur et de 5 cm de diamètre contenant des échantillons des sols sous forêt secondaire (AJ > 50), sous jachère de 0 à 5 ans et sous jachère de 5 à 10 ans.

Évaluation de la co-culture

Après six mois de co-culture (à l'instant T_f), des analyses ont été réalisées pour chaque type de sol, en mesurant leurs activités microbiennes globales (capacité à hydrolyser la FDA) et les activités des phosphatases microbiennes (en mesurant l'hydrolyse de pNPP).

Les individus des trois espèces forestières autochtones ont été étiquetés (tailles et dates de collecte) et leurs hauteurs totales mesurées au début de l'expérience ($T_{0,}$ mars 2019). Les plantes survivantes ont été comptées à la fin de la co-culture, au bout de six mois, et leurs hauteurs mesurées ($T_{f,}$ août 2019). Le taux de croissance relatif en hauteur (TCH) a été calculé en divisant la hauteur atteinte à la fin de la co-culture (T_f) par celle à T_0. La biomasse aérienne (BA, poids de matières sèches) à l'instant T_f a été mesurée après dessiccation des parties aériennes (tiges et feuilles) dans une étuve (65 °C) pendant une semaine. Le pourcentage de survie (%S) des trois espèces forestières autochtones a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$\%S = \frac{\sum ni}{N} X100$$

avec *ni*, le nombre d'individus survivants de chaque espèce et *N*, le nombre total des jeunes plants de chaque espèce forestière autochtone plantés à l'instant T_0.

Analyse statistique des données

Les données ont été traitées par une analyse de variance (Anova) à deux facteurs, afin de comparer les moyennes des paramètres microbiologiques des sols (activité microbienne globale et activités phosphatasiques). Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée pour étudier la corrélation entre différentes variables, telles que les types de sol avec ou sans les espèces pionnières facilitatrices, le pourcentage de survie, la biomasse aérienne et le TCH des plantes forestières autochtones. Le logiciel XLSTAT 2016 a été utilisé.

Résultats

Paramètres microbiologiques des sols après traitement

L'activité microbienne globale des sols traités avec les espèces pionnières facilitatrices est la plus élevée dans les sols des forêts secondaires (plus de 50 ans), puis par ordre décroissant dans les sols des jeunes jachères de 0 à 5 ans, dans ceux des jachères de 5 à 10 ans et enfin dans les sols témoins (fig. 1). Il n'y a pas de différence significative entre les trois espèces pionnières étudiées : c'est l'âge de la jachère qui influe sur le gradient d'activité microbienne du sol (fig. 1).

L'activité enzymatique en milieu acide et alcalin du sol traité avec des espèces pionnières facilitatrices est significativement très élevée dans le sol des forêts secondaires puis, par ordre décroissant, dans les sols des jeunes jachères de 0 à 5 ans, dans ceux des jachères de 5 à 10 ans et enfin dans les sols témoins (fig. 2). Il n'y a pas de différence significative entre les trois espèces pionnières étudiées : c'est l'âge de la jachère qui influe sur le gradient d'activité des phosphatases microbiennes du sol (fig. 2).

Figure 1

Activité microbienne globale de chaque type de sol dans les jachères d'âges différents.

Les moyennes repérées par une même lettre représentent les groupes statistiquement homogènes au seuil de probabilité de 0,05 d'après le test de Newman-Keuls.
AJ > 50 : sol sous forêt secondaire (jachère de plus de 50 ans).
]0-5] : sol sous jachères de 0 à 5 ans.
]5-10] : sol sous jachères de 5 à 10 ans.
+ SO : traitement avec *Solanum torvum*.
+ PS : traitement avec *Psiadia altissima*.
CL : traitement avec *Clidemia hirta*.
Témoin : sans traitement.

Figure 2

Activité enzymatique en milieu acide (P AC, phosphatase acide) et alcaline (P AL, phosphatase alcaline) de chaque type de sol dans les jachères d'âges différents.

Les moyennes repérées par une même lettre représentent les groupes statistiquement homogènes au seuil de probabilité de 0,05 d'après le test de Newman-Keuls.

Effet des espèces pionnières facilitatrices

Les résultats de l'ACP (fig. 3) montrent que :

– le premier axe factoriel F1 (79,19 %) indique deux groupes séparés :

- le premier groupe, positif sur l'axe F1, est constitué des sols forestiers (AJ > 50) et des sols des jeunes jachères (0 à 5 ans) traités avec les trois espèces pionnières facilitatrices (fig. 3A). La biomasse aérienne (B), le taux de croissance relatif en hauteur (TCH) et le pourcentage de survie des trois espèces forestières autochtones (PS) sont également dans ce groupe (fig. 3B) ;
- le deuxième groupe, négatif sur l'axe F1, est constitué des sols des jachères de 5 à 10 ans traités avec des espèces pionnières facilitatrices et les sols sans traitement ou témoins ;

– le second axe factoriel F2 (18,69 %) montre également deux groupes séparés, à savoir (1) la biomasse aérienne et la hauteur de *D. laurifolia*, et la hauteur de *P. ochrosiifolium* (valeurs positives sur l'axe F2) et (2) la hauteur *T. leucocarpa,* la biomasse aérienne de *T. leucocarpa* et de *P. ochrosiifolium* ainsi que le pourcentage de survie de ces trois espèces forestières autochtones (valeurs négatives sur l'axe F2, fig. 3B).

Figure 3

Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP).
A. Relations entre les types de sol traités ou non avec les espèces pionnières.
B. Biomasse aérienne (B), taux de croissance relatif en hauteur (H ou TCH) et pourcentage de survie des plantes forestières autochtones (%S).

AJ > 50 : sol sous forêt secondaire (jachère de plus de 50 ans).
]0-5] : sol sous jachères de 0 à 5 ans.
]5-10] : sol sous jachères de 5 à 10 ans.
+ SO : traitement avec *Solanum torvum.*
+ PS : traitement avec *Psiadia altissima.*
CL : traitement avec *Clidemia hirta.*
Témoin : sans traitement.
Sp1 : *Tricalysia leucocarpa* ; Sp2 : *Dombeya laurifolia* ; Sp3 : *Pittosporum ochrosiifolium.*

L'ACP montre que le pourcentage de survie, la valeur de biomasse aérienne et la hauteur des trois espèces forestières autochtones sur les sols des forêts secondaires, des jeunes et vieilles jachères, et traités par les espèces pionnières, sont plus élevés que pour les témoins (fig. 3A et 3B). Les sols des forêts secondaires, des jeunes et des vieilles jachères, présentent des conditions abiotiques stables. Après le traitement de ces trois types de sol avec les espèces pionnières facilitatrices, leurs conditions abiotiques s'améliorent par rapport aux sols non traités (témoins).

Discussion

Cette étude vise à évaluer l'effet de l'établissement de trois espèces pionnières facilitatrices sur l'amélioration de la survie de jeunes plants de *T. leucocarpa*, *D. laurifolia* et *P. ochrosiifolium* en pépinière. Nos résultats montrent que les trois espèces pionnières utilisées jouent un rôle important dans l'amélioration du pourcentage de survie et le développement des trois espèces autochtones ; l'âge de la jachère influe également les activités microbiennes et enzymatiques du sol.

Cette étude explique en partie la capacité de ces trois espèces pionnières à faciliter l'installation des espèces autochtones sur des sols plus ou moins dégradés. Nos résultats corroborent les trois processus fréquemment cités dans la littérature, à savoir : (1) la facilitation qui est un processus répandu dans les environnements difficiles (He *et al.,* 2013 ; Soliveres et Maestre, 2014) ; (2) les interactions entre espèces pionnières et espèces forestières courantes dans les sols dégradés (Landero et Valiente-Banuet, 2010 ; Wright *et al.,* 2014 ; Paterno *et al.,* 2016) et (3) les effets positifs des espèces pionnières facilitatrices significatifs sur la survie et la croissance de l'espèce cible ainsi que sur la biomasse aérienne (Gómez-Aparicio, 2009 ; Bertoncello *et al.,* 2016).

Cette étude montre que les trois espèces pionnières utilisées (*S. torvum*, *P. altissima* et *C. hirta*) fonctionnent comme des « facilitateurs biologiques », colonisant initialement le sol nu et modifiant les activités microbiennes globales et les activités des phosphatases microbiennes dans le sol (fig. 1 et fig. 2). Les sols traités par ces espèces pionnières montrent des valeurs de survie, de biomasse aérienne et de hauteur des trois espèces forestières autochtones plus élevées que celles des sols non traités (fig. 3A et 3B). Les travaux de Soliveres *et al.* (2011) ainsi que de Soliveres et Maestre (2014) confirment que des espèces pionnières facilitatrices peuvent améliorer la qualité des sols dégradés. Cette facilitation se produit lorsqu'une espèce végétale, appelée « pionnière », améliore la survie et/ou la croissance d'une autre espèce « cible », en élargissant sa niche, en améliorant les conditions abiotiques du sol (Jankju, 2013) ou en améliorant la disponibilité des ressources (Zhou *et al.,* 2005).

Conclusion

Cette étude montre que les paramètres microbiologiques des trois types de sol à différents stades de jachère s'améliorent quand ils sont traités avec les trois plantes pionnières facilitatrices ; ces dernières jouent en effet un rôle-clé dans la récupération microbiologique des sols et dans la croissance de l'espèce « cible ». Les plantes pionnières facilitatrices ont engendré des conditions favorables à l'établissement et au développement des espèces forestières autochtones. Ces espèces pionnières pourraient être utilisées dans des programmes de restauration écologique, notamment ceux du fragment forestier de Vohilahy et de la forêt humide de basse altitude de Madagascar.

Remerciements

Nous tenons à remercier le projet « Jeunes équipes associées à l'IRD-Exploitation et régénération des forêt malgaches » (JEAI-Explore) pour son soutien financier pendant toutes les activités de terrain, l'Institut supérieur de sciences, environnement et développement durable à Toamasina (Issedd) pour son soutien pédagogique et le Centre national de recherche sur l'environnement (CNRE) pour son soutien matériel.

Références bibliographiques

Alef K., 1998
« Estimation of the hydrolysis of fluorescein diacetate ». *In* Alef K., Nannipieri P. (eds) : *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*, Academic Press, London : 232-233.

Allan J. D., 2004
Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics,* 35 : 257-284.

Baohanta R. H., Thioulouse J., Ramanankierana H., Prin Y., 2012
Restoring native forest ecosystems after exotic tree plantation in Madagascar: combination of the local ectotrophic species *Leptolena bojeriana* and *Uapaca bojeri* mitigates the negative influence of the exotic species *Eucalyptus camaldulensis* and *Pinuspatula*. *Biological Invasions,* 14 (11) : 2407-2421.

Bertoncello R., Oliveira A., Hool K., Martini A. M. Z., 2016
Cluster planting facilitates survival but not growth in early development of restored tropical forest. *Basic and Applied Ecology*, 17 : 489-496.

Brudvig L. A., 2011
The restoration of biodiversity: where has research been and where does it need to go? *American Journal of Botany,* 98 : 549-558.

Gómez-Aparicio L., 2009
The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life-forms and ecosystems. *Journal of Ecology*, 97 : 1202-1214.

He Q., Bertness M. D., Altieri A. H., 2013
Global shifts towards positive species interactions with increasing environmental stress. *Ecology Letters*, 16 : 695-706.

Hermy M., Verheyen K., 2007
Legacies of the past in the present-day forest biodiversity: a review of past land-use effects on forest plant species composition and diversity. *Ecological Research,* 22 : 361-371.

Jankju M., 2013
Role of nurse shrubs in restoration of an arid rangeland: effects of microclimate on grass establishment. *Journal of Arid Environments*, 89 : 103-109.

Landero J. P. C., Valiente-Banuet A., 2010
Species-specificity of nurse plants for the establishment, survivorship, and growth of a columnar cactus. *American Journal of Botany*, 97 : 1289-1295.

Milbrandt E. C., Tinsley M. N., 2006
The role of saltwort (*Batisma ritima* L.) in regeneration of degraded mangrove forests. *Hydrobiologia,* 568 : 369-377.

Parmesan C., Yohe G., 2003
A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature,* 421 : 37-42.

Paterno G., Siqueira F. J., Ganade G., 2016
Species-specific facilitation, ontogenetic shifts and consequences for plant community succession. *Journal of Vegetation Science*, 27 : 606-615.

Ramanankierana H., Randriambanona H., Baohanta R. H., Sanon A., Andrianandrasana M. D., 2014
« Communautés mycorhiziennes : structure et fonctionnement selon l'état de dégradation des écosystèmes forestiers du haut plateau et de la région Est de Madagascar ». *In* Duponnois R. *et al.* (éd.) : *Champignons symbiotiques contre la désertification,* IRD Éditions, Marseille : 412-511.

Raunkiaer C., Fausbøll A. I., Gilvert-Carter H., Sir T., 1934
The life forms of plants and statistical plant geography: being the collected papers of C. Raunkiaer. The Clarendon Press, Oxford, 632 p.

Reis A., Bechara F. C., Tres D. R., 2010
Nucleation in tropical ecological restoration. *Scientia Agricola*, 67 : 244-250.

Rens H., Yang L., Liu N., 2008
Nurse plant theory and its application in ecological restoration in lower subtropics of China. *Progress in Natural Science*, 18 : 137-142.

Ruwanza S., Musil C. F., Esler K. J., 2012
Sucrose application is ineffectual as a restoration aid in a transformed southern African lowland fynbos ecosystem. *South African Journal of Botany*, 80 : 1-8.

Sattler C., Razafindravao M. 2017
Les outils novateurs de protection et de valorisation des patrimoines culturels et naturels liés aux plantes médicinales : jardin pédagogique, recueil ethnobotanique et éducation populaire. *Ethnopharmacologia*, 58 : 44-60.

Sheley R. L., James J. J., Bard E. C., 2009
Augmentative restoration: repairing damaged ecological processes during restoration of heterogeneous environments. *Invasive Plant Science and Management*, 2 : 10-21.

Siles G., Rey P. J., Alcántara J. M., Ramírez J. M., 2008
Assessing the long-term contribution of nurse plants to restoration of Mediterranean forests through Markovian models. *Journal of Applied Ecology,* 45 : 1790-1798.

Simons L., Allsopp N., 2007
Rehabilitation of rangelands in Paulshoek, Namaqualand: understanding vegetation change using biophysical manipulations. *Journal of Arid Environments*, 70 : 755-766.

Soliveres S., Eldridge D. J., Maestre F. T., Bowker M. A., Tighe M., Escudero A., 2011
Microhabitat amelioration and reduced competition among understory plants as drivers of facilitation across environmental gradients: towards a unifying framework. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 13 : 247-258.

Soliveres S., Maestre F. T., 2014
Plant-plant interactions, environmental gradients and plant diversity: a global synthesis of community-level studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 16 : 154-163.

Sovu P. S., Tigabu M., Odén P. C., 2010
Restoration of former grazing lands in the highlands of Laos using direct seeding of four native tree species: seedling establishment and growth performance. *Mountain Research and Development*, 30 : 232-243.

Tabatabai M. A., 1982
« Assay of enzymes in soil ». *In* Page A. L. (eds) : *Methods of soil analysis, vol. 2*, American society agronomy and soil science society of American journal, Madison, (WI) : 922-947.

Tscharntke T., Klein A. M., Kruess A., Steffan-Dewenter I., Thies C., 2005
Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity. Ecosystem service management. *Ecology Letters,* 8 : 857-874.

Van Der Vyver M. L., Cowling R. M., Campbell E. E., Difford M., 2012
Active restoration of woody canopy dominants in degraded South African semi-arid thicket is neither ecologically nor economically feasible. *Applied Vegetation Science*, 15 : 26-34.

Vellend M., Verheyen K., Flinn K. M., Jacquemyn H., Kolb A., Van Calster H., 2007
Homogenization of forest plant communities and weakening of species-environment relationships via agricultural land use. *Journal of Ecology,* 95 : 565-573.

Wright A., Schnitzer S., Reich P., 2014
Living close to your neighbors: the importance of both competition and facilitation in plant communities. *Ecology*, 95 : 2213-2223.

Zhao Y., Tong C., Jiang J., 2007
Hedgehog regulates smoothened activity by inducing a conformational switch. *Nature,* 450 (7167) : 252-258

Zhou C. B., Barnes P. W., Archer S., Mcmurtry C. R., 2005
Soil moisture redistribution as a mechanism of facilitation in savanna tree-shrub clusters. *Oecologia*, 145 : 32-40.

Chapitre 40

Contribution à la restauration écologique du site minier de Mandena Fort Dauphin, Madagascar

Sitraka Mireille Ranaivosoa-Toandro
CNRE, Madagascar

Léonnie Marcelline Voahanginirina
CNRE, Madagascar

Tsoushima Ernest Razakatiana
CNRE, Madagascar

Faustin Francky Manantsoa
CNRE, Madagascar

Irinah Ratsizafy
CNRE, Madagascar

Martial Doret Andrianandrasana
CNRE, Madagascar

Hibrahim R. Ravonjimalala
CNRE, Madagascar

Herizo Randriambanona
CNRE, Madagascar

Ramisandrazana Rakotoariseheno
CNRE, Madagascar

Rondro H. Baohanta
CNRE, Madagascar

Heriniaina Ramanankierana
CNRE, Madagascar

Introduction

Réputée pour sa richesse naturelle, Madagascar est considérée comme l'un des *hot spots* de la biodiversité mondiale. En effet, l'île abrite un nombre important de familles et de genres endémiques de plantes et d'animaux (Ganzhorn et *al*., 2001) : plus de 80 % d'espèces endémiques de mammifères terrestres, 91 % de reptiles, 99 % d'amphibiens, 41 % d'oiseaux et 80 % pour les plantes (Conservation International, 2003 ; Seligmann et *al*., 2007). Toutefois, la déforestation et la fragmentation des forêts menacent cette riche biodiversité (Conservation International, 2013). De nombreuses causes en sont à l'origine, entre autres la culture sur brûlis et l'exploitation forestière et minière. Durant les dernières décennies, l'exploitation minière a été mentionnée comme l'un

des principaux facteurs de dégradation de la biodiversité, car elle s'accompagne généralement d'un défrichage total du sol, d'une modification radicale du paysage et d'un dérèglement de l'écosystème (Conservation International, 2011 ; Cooke et Johnson, 2002).

La plupart du temps, l'écosystème qui a été dégradé, endommagé, transformé ou entièrement détruit par ces activités nécessite une intervention humaine pour être restauré. Pour la population locale, la déforestation peut également avoir un effet négatif sur leur sécurité alimentaire et sanitaire, et sur leur bien-être en général (Golden et *al*, 2016 ; Pecl *et al*, 2017) ; c'est pourquoi la sauvegarde et la restauration des écosystèmes sont essentielles (Sangha et Russell-Smith, 2017). À cette fin, la population doit être partie prenante de la restauration des écosystèmes, notamment forestiers, car elle en a une connaissance approfondie (Wehi et Lord, 2017). Selon certains auteurs, la restauration écologique est le processus qui initie et/ou accélère « l'autoréparation » d'un écosystème dégradé, endommagé ou détruit (Mc Donald, 2016 ; SER, 2004) ; elle vise à rétablir l'intégrité écologique et à améliorer le bien-être des populations humaines qui y vivent (OIBT, 2005). Elle consiste soit à réduire les pressions et à permettre une régénération naturelle, soit à effectuer d'importantes interventions comme la replantation de la végétation, le rétablissement d'espèces disparues localement ou encore la suppression d'espèces invasives. (Keeneleyside *et al*, 2012).

Un projet de restauration écologique a été élaboré en 2017 au niveau du site minier de Mandena Fort Dauphin, à Madagascar, compte tenu de l'importance de la biodiversité et des pressions sur le milieu dues à l'exploitation minière. Ce site minier est le lieu du plus grand projet malgache d'exploitation de sables minéralisés à forte teneur d'ilménite. L'un des enjeux du projet de restauration est de parvenir à une appropriation effective du projet par les populations locales. Pour répondre à cet enjeu, il est important de promouvoir la restauration écologique du site auprès de la population, tout en portant une attention particulière sur ses perceptions, ses attentes et ses besoins, notamment agricoles. Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude a été d'identifier les espèces végétales qui sont à la fois nécessaires à la subsistance des populations locales et utiles pour la restauration écologique du site minier. Pour ce faire, les objectifs spécifiques ont été de déterminer les produits agricoles de la zone et de connaître les différents usages de ces espèces natives. Une fois les espèces végétales sélectionnées selon les besoins de la population locale, elles pourront alors être ensuite confrontées, dans le cadre d'une autre étude à venir, aux connaissances scientifiques afin de s'assurer de leur adaptation et de leur développement sur un sol dégradé, pauvre en éléments nutritifs.

Matériels et méthodes

Site d'étude

Le site minier de Mandena est localisé à Fort-Dauphin Taolagnaro, entre 24°56′56.33″ de latitude Sud et 46°59′54.08″ de longitude Est, à une altitude de 7 m (fig. 1). Sur le plan administratif, ce site se trouve dans la commune de Mandena dans le district de Tolagnaro (région Anosy). C'est un site d'exploitation minière géré par la société Qit Madagascar Minerals (QMM), avec l'appui du gouvernement malgache et de Rio Tinto (un groupe minier multinational). Cette zone occupe une superficie de 2 000 ha, constituée principalement d'un écosystème littoral unique abritant un taux d'endémisme élevé. Les populations locales appartiennent aux ethnies Antanosy, Tandroy et Bara ; des migrants y vivent également, notamment des Antesaka (ou « gens du sud-est »). Les parcelles de riz et de manioc, et de rares parcelles de légumes et d'arbres fruitiers, constituent le paysage agricole.

Figure 1
Localisation du site.
© Ravonjimalala, 2020.

Méthodes de collecte des données

Enquêtes socio-économiques

L'enquête socio-économique a eu pour buts de connaître (1) les différentes pratiques culturales dans cette zone, (2) les besoins de la population en termes d'espèces forestières, et (3) la perception de la restauration écologique. Au total, 600 personnes ont été aléatoirement choisies dans deux *fokontany* (Ampasy et Maromodromotry) situés à proximité du site de Mandena, dont 299 hommes et 301 femmes. Les personnes enquêtées ont ensuite été classées en trois classes d'âge : les personnes âgées de 50 à 90 ans (n = 126), les adultes âgés de 25 à 49 ans (n = 120) et les jeunes âgés de 15 à 24 ans (n = 354).

Ces enquêtes ont été réalisées sur la base d'un questionnaire préétabli avec des questions fermées, ouvertes et à choix multiples. Le questionnaire comprenait trois grandes parties : (1) les attentes et besoins de la population locale en termes d'espèces, (2) leur connaissance en matière de restauration écologique et (3) les perspectives de sources de revenus.

Entretiens formels

Des entretiens formels ont été réalisés avec des personnes ressources sélectionnées (n = 06), dont quatre pépiniéristes (qui fournissent des plantes à la population locale), un responsable au niveau de la commune (un « quartier mobile » qui assure le maintien de la sécurité) et un chef *fokontany.* L'objectif de ces entretiens était de bien connaître l'historique du site, la dynamique de la population (leur besoin global en termes d'activités génératrices de revenus et de plantes) et les utilisations quotidiennes des ressources forestières. Une grille d'entretien a été utilisée pour les points importants à renseigner.

Traitement des données

Une fois que les données ont été collectées, elles ont été triées pour ne garder que celles nécessaires. Le logiciel de traitement des données Sphinx V-5 a été utilisé pour analyser les fréquences des réponses des enquêtés. La fréquence a été basée sur le nombre total d'enquêtés, 600 personnes, soit 100 % des réponses.

Résultats

Les différentes productions agricoles

Dans la zone d'étude, les produits agricoles sont principalement utilisés pour l'autoconsommation des ménages, même si l'agriculture a toujours été la principale source de revenus de la population rurale. L'agriculture joue donc un rôle important dans la réduction de la pauvreté des ménages mais également dans l'amélioration de leur sécurité alimentaire. Nos enquêtes montrent (tabl. 1),

que le riz est la principale production agricole (28,1 % des citations), suivi du manioc (27,6 %), des brèdes (12,9 %) et de la patate (5,7 %). L'ananas, le maïs, la banane et le piment viennent ensuite. Les autres produits, comme la canne à sucre, les carottes, les choux, la papaye, la tomate, etc., sont rares et/ou spontanés. Le choix des produits agricoles est directement lié aux habitudes alimentaires qui reposent principalement sur la consommation du riz. Par ailleurs, durant les périodes de soudure (février à avril, septembre à octobre), la consommation de riz est souvent remplacée par d'autres produits secondaires, comme le manioc et le maïs. Les autres produits constituent ainsi des leviers intéressants de diversification.

Tableau 1
Importance des différents produits agricoles dans la zone d'étude.

Produits agricoles	Nombre de citations	Fréquences (%)
Riz	393	17,4
Manioc	223	9,9
Letchi	97	4,3
Ananas	149	6,6
Brèdes	156	6,9
Banane	142	6,3
Canne à sucre	96	4,3
Patate	125	5,5
Maïs	126	5,6
Arachide	89	4,0
Carottes	92	4,1
Concombre	96	4,3
Choux	87	3,9
Vanille	66	2,9
Piment	91	4,0
Papaye	67	3,0
Tomate	55	2,4
Oignon	41	1,8
Jacquier	34	1,5
Pois de Bambara	28	1,2
Total citation	**2 253**	**100**

Le tableau est construit sur 600 observations et les pourcentages sont calculés par rapport au nombre de citations.

Choix des espèces à produire en pépinière

Les activités de restauration des communautés végétales dégradées concernent principalement la plantation d'espèces natives. Une pépinière est alors indispensable pour produire les plants des espèces concernées. Plusieurs espèces ont été choisies par les enquêtés (tabl. 2), à savoir 17 espèces appartenant à 13 familles. Parmi les espèces les plus appréciées, quatre ont été identifiées par la population pour être multipliées en pépinière : l'eucalyptus (*Eucalyptus camuldiensus)*, l'acacia (*Acacia mangium),* le pin (*Pinus* sp.) et la vanille (*Vanilla planifolia*). Les autres espèces mentionnées sont des arbres fruitiers, comme la geville (*Spondias dulcis*), le manguier (*Mangifera indica*), le letchi (*Litchi chinensis*), le café (*Coffea robusta*) et des épices telles que le poivre (*Piper nigrum*). Les espèces choisies par la population sont majoritairement des espèces natives, les plus efficaces pour répondre à l'objectif de restauration végétale des écosystèmes dégradés de la zone. Par ailleurs, les espèces choisies sont à usages multiples. Les espèces comme *Intsia bijuga, Spondias dulcis, Dypsis scottiana* et *Fasikazy* sont utilisées pour le bois de chauffe, *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia mangium, Pinus patula* et *Dalbergia maritima* comme bois de construction. Les espèces *Litchi chinensis, Artocarpus heterophyllus, Annona reticulata, Vanilla planifolia* et *Piper nigrum* ont un usage commercial, alors que *Mangifera indica, Litchi chinensis* et *Annona reticulata* sont également utilisées à des fins alimentaires (tabl. 2).

Perception locale de la restauration écologique

La dégradation forestière du site de Mandena est causée par l'exploitation minière. La restauration écologique consiste à remettre une végétation dans un état antérieur à sa dégradation par des causes naturelles et/ou anthropiques. Avant tout travail de restauration, il est primordial de connaître la perception de la population locale sur les activités de restauration. D'après les résultats, 46 % des enquêtés mentionnent que le reboisement est la solution de restauration la plus efficace dans une zone dégradée comme celle de Mandena. L'utilisation des engrais a été aussi évoquée par 7,9 % des personnes enquêtées. Ces résultats suggèrent que plus de la moitié de la population locale ne possède aucune connaissance sur la restauration écologique et son importance pour l'écosystème dans lequel elle vit. En effet, elle a une perception assez erronée concernant l'approche adoptée en confondant restauration écologique et reboisement. L'implication de la population locale est pourtant d'une importance capitale pour aboutir à une restauration réussie. Aussi, celle-ci nécessite d'être sensibilisée à ce sujet.

Tableau 2
Espèces choisies par la population locale pour la production en pépinière de plants ayant de fortes potentialités en matière de restauration.

Nom commun ou vernaculaire	Nom scientifique	Famille	Fréquence de citation (%)	Usage des espèces
Eucalyptus	*Eucalyptus camaldulensis*	Myrtaceae	40,3	Bois de construction Bois de chauffe
Acacia	*Acacia mangium*	Fabaceae	11,6	Bois de construction
Pin	*Pinus patula*	Pinaceae	8,6	Bois de construction
Letchi	*Litchi chinensis*	Sapindaceae	7,9	Bois de chauffe Alimentation Commerce
Jacquier	*Artocarpus heterophyllus*	Moraceae	1,4	Alimentation Commerce
Geville	*Spondias dulcis*	Anacardiaceae	2,9	Alimentation Commerce Bois de chauffe
Cœur de bœuf	*Annona reticulata*	Annonaceae	0,7	Alimentation Commerce
Harandrato	*Intsia bijuga*	Fabaceae	3,6	Bois de chauffe
Fanola	*Asteropeia micraster*	Theaceae	2,2	Bois de chauffe
Café	*Coffea robusta*	Rubiaceae	0,7	Commerce
Palissandre	*Dalbergia maritima*	Fabaceae	2,2	Bois de construction
Vanille	*Vanilla planifolia*	Orchidaceae	8,6	Commerce
Poivre	*Piper nigrum*	Piperaceae	4,3	Commerce
Amboza	*Dypsis scottiana*	Arecaceae	0,7	Bois de chauffe
Manga	*Mangifera indica*	Anacardiaceae	1,4	Alimentation Commerce
Voapaka	*Uapaca* sp.	Phyllanthaceae	1,4	Bois de construction
Fasikazy	Non déterminé	-	1,4	Bois de chauffe

Discussion

Cette recherche menée dans le site minier de Mandena indique, au travers des différents besoins de la population, les espèces végétales à considérer pour la restauration écologique. Cette étude montre également que les enquêtes et entretiens formels sont efficaces pour collecter les données (Gueye et Schoonmaker, 1991). Les résultats d'enquête sur les produits agricoles identifient le riz, le manioc et les brèdes comme les principales cultures présentes dans la zone. Le riz est en effet cultivé dans presque toute l'île ; aliment de base

à Madagascar, il tient une place primordiale dans les repas des ménages (Camille et Franck, 2014 ; Minten et Barrett, 2008). Dans la zone d'étude, ces cultures – riz, manioc et brède – sont considérées comme vivrières et sont rarement priorisées par les ménages par rapport aux cultures de rente, comme la vanille.

L'installation de pépinières est nécessaire pour la restauration des forêts dégradées de Mandena. *Eucalyptus* sp., *Acacia mangium* et *Pinus patula* sont les espèces les plus mentionnées par la population pour des actions de restauration. Selon les personnes enquêtées, le choix de ces espèces est basé sur les utilisations et besoins quotidiens de la population locale. Ces espèces sont en effet connues comme des matériaux de construction et de bois de chauffe. Or, d'après une analyse écologique des espèces végétales les plus utilisées dans la nouvelle aire protégée d'Agnalazaha (à Mahabo-Mananivo) en vue d'une restauration, *Intsia bijuga, Leptolaena multiflora, Leptolaena pauciflora* et *Uapaca littoralis,* sont les espèces les plus utilisées pour la construction et *Asteropeia micraster* comme bois de chauffe (Randrianantenaina, 2018). Par ailleurs, *Abrahamia ditimena, Cryptocarya* sp. et *Neotina coursii* sont les espèces les plus mentionnées et ciblées par les personnes enquêtées lors d'une étude d'impact environnemental menée à Ambatovy (Dynatec Corporation, 2006). Selon certains auteurs, les espèces autochtones sont les plus souvent choisies par la population. (Ladouceur *et al.,* 2018 *;* Abbandonato *et al.,* 2018). Il convient donc d'établir une stratégie combinant à la fois les connaissances scientifiques sur le site de Mandena et les choix et besoins de la population locale.

Selon la population locale, le reboisement est la première solution pour la restauration d'une zone dégradée. En effet, consciente de la dégradation de la zone du fait de l'exploitation minière, la population locale aimerait augmenter la surface forestière pour assurer la bonne santé de l'environnement, ainsi que leurs besoins quotidiens. Cependant, les espèces de reboisement doivent être choisies en fonction des besoins locaux en bois. D'autres études indiquent que la population a en effet de nombreuses raisons de restaurer une forêt, notamment pour améliorer l'environnement, fournir de la nourriture et de l'ombre au bétail, fournir du bois pour la construction, le mobilier et le chauffage (Garen *et al*., 2011). Le reboisement, facteur du développement social et économique (Rakotosolofonirina, 2017), contribue par ailleurs à l'amélioration des rendements agricoles, et ses produits rapportent des revenus à la population (production et vente de charbon). Ces résultats montrent l'importance d'une approche qui priorise la formation et la sensibilisation des populations locales au processus de restauration écologique proprement dit. La réussite d'une restauration écologique dépend en effet de la participation et de l'engagement de la communauté locale, qui gère, adapte et restaure l'environnement dont elle dépend (Babai et Molnar, 2014). Cet aspect d'appropriation du projet par tous renforcerait les actions déjà entreprises de restauration écologique.

Conclusion et perspectives

Les études écologiques des espèces végétales sont indispensables dans le cadre de la restauration écologique. Il est également primordial d'analyser les besoins et les choix de la population locale sur les espèces à utiliser. Dans le site minier de Mandena, des enquêtes ont été menées au niveau de la population pour connaître leur perception de la restauration écologique, ainsi que leurs besoins en plants à produire dans la pépinière. Cette étude a fourni des informations sur les différents types de produits agricoles existants dans la zone – majoritairement le riz et le manioc –, sur les choix des espèces à multiplier dans la pépinière, ainsi que sur l'utilisation de ces espèces par la population locale. La population locale utilise plusieurs espèces pour ses besoins quotidiens en matériaux de construction et en bois de chauffe. Les espèces les plus citées sont : *Eucalyptus camaldulensis* sp., *Acacia mangium* et *Pinus patula*.

La restauration repose non seulement sur la sélection des espèces, mais également sur la participation effective de la communauté locale, et ce dès la planification des activités jusqu'à leur mise en œuvre et suivi. En effet, les projets de restauration écologique sont motivés par différentes raisons environnementales mais aussi sociales. L'implication de la population locale est fondamentale pour le succès de l'effort de la restauration.

Suite à ce travail, plusieurs pistes de recherche mériteraient d'être approfondies, en l'occurrence sur les enjeux socio-économiques de la restauration, la confrontation des résultats de nos enquêtes avec les acquis scientifiques et techniques, et, enfin, l'élargissement des enquêtes à tous les *fokontany* de la commune de Mandena.

Remerciements

Nous adressons nos plus vifs remerciements au programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D), au Centre national de recherches sur l'environnement (CNRE), au projet « Développement d'un pôle de compétence locale en matière de restauration écologique » (Decore), à la société Qit Madagascar Minerals, à la commune de Mandena et à toutes les personnes qui ont apporté leur aide à la réalisation de cet article.

Références bibliographiques

Abbandonato H., Pedrini S., Hugh W., Pritchard, De Vitis M., Costantino B., 2018
Native seed trade of herbaceous species for restoration: a European policy perspective with global implications. *Restoration Ecology*, 26 (5) : 820-826.

Babai D., Molnar Z., 2014
Small-scale traditional management of highly species-rich grasslands in the Carpathians. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 182 : 123-130.

Camille J., Enjalric F., 2014
Les principales productions agricoles à Madagascar : état des lieux. Cirad, Antananarivo, 6 p.

Conservation International, 2003
Biodiversity hotspot profile. Madagascar. Rapport international, 45 p.

Conservation International, 2011
Restauration forestière à Madagascar : capitalisation des expériences en vue de l'élaboration d'un plan d'actions de restauration. 75 p.

Conservation International, 2013
Évolution de la couverture des forêts naturelles à Madagascar 2005-2010. Rapport national, 65 p.

Cooke J. A., Johnson M. S., 2002
Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: a review of theory and practice. *Environmental Reviews,* 10 : 41-71.

Dynatec Corporation, 2006
Étude d'impact environnemental d'Ambatovy. Vol I-J : 1363-1375.

Ganzhorn J. U., Lowry Ii P. P., Schatz G. E., Sommer S., 2001
The biodiversity of Madagascar: one of the world's hottest hotspots on its way out. *Oryx*, 35 (4) : 346-348.

Garen E., Saltonsall K., Ashton M., Jacob L., Shane M., Jefferson S., 2011
The tree planting and protecting culture of cattle ranchers and small-scale agriculturalists in rural Panama: opportunities for reforestation and land restoration. *Forest Ecology and Management*, 261 (10) : 1684-1695.

Golden C., Allison E., Cheung W., Dey M., Halpern B., Mccauley D., Smith M., Vaitla B., Zeller D., Myers S., 2016
Nutrition: fall in fish catch threatens human health. *Nature*, 534 : 317-320.

Gueye B., Schoonmaker F., 1991
Introduction à la méthode accélérée de recherche participative (Marp). Quelques notes pour appuyer une formation pratique. 2e édition, International Institute for Environment and Development (IIED), London, 70 p.

Keeneleyside K., Dudley N., Cairns S., Hall C., Stolton S., 2012
Ecological restoration for protected areas. Principles, guidelines and best practices. *Best Practice Protected Area Guidelines Series,* IUCN, 18, 133 p.

Ladouceur E., Jiménez-Alfaro B., Marin M., De Vitis M., Abbandonato H., Lannetta P. P. M., Bonomi C., Pritchard H. W., 2018
Native seed supply and the restoration species pool. *Society for conservation Biology*, 11 (2) : 12401.

Mc Donald T., Jonson J., Dixon K., 2016
National standards for the practice of ecological restoration in Australia. *Restoration Ecology*, 24 : S4-S32.

Minten B., Barett C., 2008
Agricultural technology, productivity, and poverty in Madagascar. *World Development*, 36 (5) : 797-822.

OIBT, 2005
« Glossaire ». *In : Introduction à la restauration du paysage forestier*. Série technique, OIBT, 23 : 147-153.

Pecl G., Araújo M., Bell J., Blanchard J., Bonebrake T., Chen I.-C., 2017
Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, 355 : 9214.

Rakotosolofonirina, 2017
Le reboisement et ses impacts (économique, social et environnemental) dans le district de Moramanga, région Alaotra Mangoro. Mémoire de fin d'étude, université d'Antananarivo, Arts, Lettres et Sciences humaines. 107 p.

Randrianantenaina J., 2018
Analyse écologique des cinq espèces végétales les plus utilisées dans la nouvelle aire protégée d'Agnalazaha en vue d'une restauration et d'une conservation in situ *(Mahabo-Mananivo, région Atsimo-Atsinanana)*. Mémoire de fin d'étude, université d'Antananarivo, 94 p.

Sangha K., Russell-Smith J., 2017
Towards an indigenous ecosystem services valuation framework: a north Australian example. *Conservation and Society*, 15 : 255-269.

Seligmann P., Mittermeier R., Da Fonseca G., Gascon C., Crone N., Da Silva J. M., Famolare L., Bensted-Smith R., Rajaobelina L., Beehler B. 2007
Conservation International. Centers for Biodiversity Conservation publication, 56 p.

SER (Society for Ecological Restoration), International Science & Policy Working Group, 2004
The SER international primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona. http://www.en.m.wikipedia.org

Wehi P., Lord J., 2017
Importance of including cultural practices in ecological restoration. *Conservation Biology*, 31 : 1109-1118.

Chapitre 41

Dynamique temporelle des champignons endomycorhiziens associés à *Mimosa latipinosa* Lam. (Fabaceae)

Cas du site minier de Mandena, Madagascar

Irinah Ratsizafy
CNRE, Madagascar
Université d'Antananarivo, Madagascar

Rondro Harinisainana Baohanta
CNRE, Madagascar

Martial Doret Andrianandrasana
CNRE, Madagascar

Faly Randriatafika
Rio Tinto, Madagascar

Rivo Andriamaro Rajoharison
Tropical Biodiversity
& Social Enterprise, Madagascar

Tsoushima E. Razakatiana
CNRE, Madagascar

Herizo Randriambanona
CNRE, Madagascar

Robin Duponnois
IRD, France

Heriniaina Ramanankierana
CNRE, Madagascar

Introduction

La recolonisation des sols par les végétaux après une exploitation minière est un défi de taille non seulement pour les sociétés minières, qui se sont engagées à les restaurer, mais aussi pour les scientifiques voulant comprendre la complexité des mécanismes qui régissent le fonctionnement de cet écosystème particulier. En effet, plusieurs études ont rapporté que les sols, après l'extraction des

minerais, deviennent extrêmement pauvres en éléments nutritifs, ce qui les rend impropres à l'installation et au développement de la majorité des espèces végétales (L'Huillier *et al.,* 2010). Le secteur minier de grande envergure étant en pleine croissance à Madagascar (Canavesio, 2014), la perte de la biodiversité et la dégradation de l'environnement sont à craindre.

Le choix des espèces végétales à implanter sur les sites miniers doit impérativement tenir compte de leur capacité adaptative et de leur résistance aux contraintes extrêmes de tels sites (L'Huillier *et al.,* 2010). Ces espèces, bien que très rares, s'avèrent être des alliées efficaces pour amorcer le processus de restauration écologique de l'écosystème minier (Liu *et al.,* 2014). Elles sont, pour la plupart, qualifiées de « facilitatrices » car leur présence, même transitoire, améliore les conditions du milieu et facilite l'installation et le développement des espèces qui vont leur succéder (Henry *et al.,* 2017).

Les mécanismes microbiologiques sont très peu exploités dans le phénomène de facilitation « plante-plante » (Houles, 2017). Or, il a été maintes fois rapporté dans la littérature que dans les environnements arides, et/ou fragiles et stressés, la composante biologique du sol joue un rôle fondamental du fait de ses interactions exceptionnelles avec les plantes (Roger-Estrade, 2013). Ainsi, les champignons mycorhiziens sont connus pour leur aptitude à établir des relations symbiotiques avec 95 % des plantes, dont les principaux bénéfices sont : l'amélioration de la nutrition minérale (phosphore et azote) et hydrique, l'amélioration de la structure du sol par la présence des hyphes extra-matriciels et la stimulation des autres micro-organismes bénéfiques par la production de substances spécifiques (Asmelash *et al.,* 2016).

Concernant l'écosystème minier de Fort-Dauphin à Madagascar (notamment sur le site minier de Mandena), une attention particulière a été portée dans cette étude sur une espèce native, *Mimosa latispinosa* Lam. (Fabaceae ou Leguminosae). Des études précédentes ont en effet montré que cette espèce est capable de s'adapter aux conditions drastiques du sol après exploitation minière ; elle est également reconnue pour sa capacité à former des relations symbiotiques à la fois avec les *rhizobia* (bactéries fixatrices d'azote atmosphérique) et les champignons endomycorhiziens à arbuscules (MA) (Sarasin, 2011).

L'objectif principal de cette étude a été de suivre la dynamique temporelle des MA associés à l'espèce *M. latispinosa* implantée sur des sols déminéralisés après extraction des minerais. Pour ce faire, les objectifs spécifiques étaient d'évaluer à trois âges différents, d'une part, la densité des spores contenues dans le sol et, d'autre part, leur diversité spécifique.

Matériels et méthodes

Prélèvement des échantillons

Les échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur de 0 à 20 cm dans le site minier de Mandena (S 24°56′56.33″ ; E 46°59′54.08″, à une altitude de 7 m au-dessus du niveau de la mer) à partir de trois parcelles revégétalisées avec *M. latispinosa* et âgées respectivement de six mois, un an et trois ans. Les échantillons de sol provenant de la forêt conservée dans le site minier de Mandena ont été utilisés comme « sol de référence ».

Pour chaque parcelle, l'échantillonnage a été réalisé au hasard avec quatre points différents de prélèvement afin d'assurer la meilleure représentativité. Ces quatre prélèvements de sol ont été mélangés dans un container stérile, et ce mélange constitue alors l'échantillon composite de la parcelle. Cette opération est répétée trois fois par parcelle.

Analyses chimiques des sols

Les propriétés chimiques de l'ensemble des sols ont été analysées de la manière suivante. Le pH a été mesuré par électrométrie dans une suspension sol-solvant (1 : 2,5 ; v/v). Le carbone organique total (C) a été dosé par oxydation avec du dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), en présence d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré. L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl décrite par Pauwels *et al*. (1992). Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Bray II qui combine extraction du phosphore en milieu acide (HCl 0,1 N) et complexation par le fluorure d'ammonium (NH_4F 0,03 N) de l'aluminium lié au phosphore.

Extraction et dénombrement des spores

Les spores de MA ont été extraites selon la méthode de tamisage humide décrite par Sieverding (1991). Ainsi, 100 g de sol préalablement séché à l'air ambiant pendant 72 heures ont été tamisés avec des tamis moléculaires de mailles différentes (200 µm, 100 µm, 80 µm et 50 µm), sous un jet d'eau permanent. Chaque fraction de sol retenue dans les différents tamis a été récupérée dans des tubes à centrifuger de 50 ml. Deux séries de centrifugation ont été ensuite réalisées : une première série avec de l'eau distillée stérilisée à 5 000 tours pendant 5 minutes et une deuxième série avec une solution de saccharose à 60 % à 1 000 tours pendant 3 minutes. Les spores qui ont migré par gradient de concentration vers le surnageant ont été récupérées sur du papier Wattman n° 1 quadrillé à travers un appareil de filtration millipore.

L'observation et le comptage des spores ont été réalisés au microscope (grossissement × 400). Les spores ont été comptées selon leur taille (200 µm, 100 µm, 80 µm et 50 µm) et classées en morphotypes selon leur couleur (noir, brun, marron, jaune, blanc). La densité totale des spores est exprimée en nombre de spores/100 g de sol sec.

Identification des spores

La description morphologique des spores a été réalisée selon le nuancier standardisé de couleurs des champignons Glomales établi par l'International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Invam, https://invam.wvu.edu/).

Pour l'identification anatomique, une seule spore intacte par morphotype a été montée sur une lame de verre et colorée avec du polyvinyl lactophénol (PVLG) (1 : 1), puis observée afin de décrire son aspect externe. Ensuite, une autre spore du même morphotype a été montée entre lame et lamelle, broyée, colorée avec une solution de PVLG contenant du réactif de Meltzer, puis observée au microscope afin de décrire ses caractères anatomiques (Azcon-Aguilar *et al.,* 2003).

Les critères de Muthukumar et *al.* (2009) et de l'Invam ont été utilisés pour l'identification des spores. Ces critères prennent en compte la morphologie, la disposition, la taille, la forme, la couleur des spores, les formes des hyphes sous-jacentes, l'ornementation des murs qui constituent leur paroi, les structures des couches murales et leur réaction aux différentes colorations ainsi que le contenu des spores.

Évaluation de la diversité spécifique des MA

La diversité des MA a été évaluée en calculant la fréquence relative (*fi*) et les indices de diversité de Shannon-Weiner (*H*'), selon les formules suivantes :

$$fi = \frac{\text{Nombre de spores par morphotype identifié}}{\text{Nombre total de spores}} \qquad H' = -\sum_{n=1}^{S} fi \cdot \log_2 \cdot f_i$$

Analyses statistiques

Pour toutes les variables étudiées, une analyse de variance a été effectuée. Les données ne répondant pas aux hypothèses de l'analyse de variance (normalité, homoscédasticité) ont été transformées selon les besoins, mais les résultats sont présentés dans leur échelle de mesure originale. Les moyennes ont été comparées selon le test de Newman-Keuls. La signification statistique est de $p < 0{,}05$. Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel XLSTAT 2018.

Résultats

Propriétés chimiques des sols

Les propriétés chimiques des sols montrent une évolution après la colonisation du sol par *M. latispinosa* (tabl. 1). Une nette amélioration de ces propriétés est

en effet observée après trois ans de culture de *M. latispinosa*. Les teneurs en azote (N) et en carbone (C) des sols dépassent largement celles du sol de référence (sol de la forêt de la zone de conservation) avec respectivement une teneur en azote de 0,175 % contre 0,126 % et une teneur en carbone de 2,14 % contre 1,66 %. Par ailleurs, une augmentation progressive du pH du sol déminéralisé (pH = 3,29) est également enregistrée avec l'installation de *M. latispinosa*.

Tableau 1
Évolution des propriétés chimiques des sols sous M. latispinosa.

	pH (eau)	N (%)	P (ppm)	K (meq/100 g)	C (%)	C/N
SD	3,29	0,007	0,1	0,034	0,06	8,6
T0	3,92	0,091	0,9	0,031	1,02	11,2
T1	4,04	0,105	1,2	0,028	1,49	14,2
T2	4,78	0,175	2,3	0,058	2,14	12,2
TFC	5,19	0,126	4,3	0,135	1,66	13,2

pH : potentiel d'hydrogène ; C : carbone ; N : azote total ; P : phosphore assimilable ; K : potassium total.
SD : sol déminéralisé ; T0 : sol sous *M. latispinosa* après six mois de culture ; T1 : sol sous *M. latispinosa* après un an de culture ; T2 : sol sous *M. latispinosa* après trois ans de culture ; TFC : sol issu de la forêt de la zone de conservation.

Identification des spores

L'identification morphotypique des spores issues des sols de Mandena montre qu'elles appartiennent à trois familles : (1) la famille des Glomeraceae avec quatre espèces – *Glomus hoi, Funneliformis coronatum, Funneliformis mosseae, Rhizophagus intraradices* –, (2) les Gigasporaceae avec *Gigaspora* sp. et (3) les Acaulosporaceae avec *Acaulospora* sp.

Densité et diversité des spores

Les résultats montrent une augmentation de la densité des spores de MA avec le temps (fig. 1). Une différence significative de la densité totale des spores est observée dès la première année de colonisation du sol par *M. latispinosa,* et cette densité augmente significativement d'année en année passant ainsi de 265 spores/100 g de sol après six mois de culture à 1 168 spores/100 g de sol après trois ans de colonisation. Le sol déminéralisé renferme la densité totale la plus faible avec 59 spores/100 g de sol tandis que le sol forestier de la zone de conservation renferme la densité la plus élevée (2 921 spores/100 g de sol).

Par ailleurs, trois espèces de MA sont toujours présentes dans le sol déminéralisé (*F. mosseae, G hoi* et *R. intraradices*). Bien que la densité de leurs spores soit faible comparée à celles dans les autres sols, il existe une relative codominance entre ces trois espèces dans les sols déminéralisés, surtout entre *G. hoi* et *R. intraradices* dont les fréquences relatives respectives sont de 38,20 % et 53,50 % (tabl. 2).

Figure 1

Évolution dans le temps des espèces présentes dans les sols sous Mimosa latispinosa.
A : Acaulospora sp., B : Funneliformis mosseae, C : Glomus hoi,
D : Funneliformis coronatum, E : Rhizophagus intraradices

SD : sable déminéralisé, T0 : sol sous *M. latispinosa* après six mois de culture,
T1 : sol sous *M. latispinosa* après un an de culture, T2 : sol sous *M. latispinosa* après trois ans de culture,
TFC : sol de la forêt de la zone de conservation.
Les histogrammes marqués par une même lettre ne présentent pas de différence significative
selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité 0,05.

Après la mise en culture de *M. latispinosa,* deux nouvelles espèces de MA (*Acaulospora* sp. et *F. coronatum*) apparaissent dans le sol. La densité de leurs spores augmente la première année puis diminue fortement la troisième année (fig. 1A et 1D). *G. hoi* est de plus en plus dominante au cours du temps (fig. 1C), atteignant une fréquence relative importante, de 90,93 %, la troisième année de culture (tabl. 2). En revanche, les densités des spores de *F. mossae* et *R. intraradices* n'évoluent pas et ne sont pas significativement différentes de celles rencontrées dans le sol déminéralisé (fig. 1B et 1E).

Tableau 2
Densité et diversité des spores endomycorhiziennes dans les sols sous M. latispinosa.

Sol	Densité totale de spores/100 g de sol	Fréquence relative (%)						Indice de Shannon-Wiener (H')
		Gigaspora sp.	*Rhizophagus intraradices*	*Funneliformis coronatum*	*Funneliformis mosseae*	*Glomus hoi*	*Acaulospora* sp.	
TFC	2 921,33 (a)	0,99	16,85	0,87	6,34	73,26	1,69	1,231 (b)
T3	1 168,67 (b)	-	5,99	0,63	1,29	90,93	1,17	0,566 (d)
T1	636,67 (c)	-	14,35	3,44	5,22	68,87	8,12	1,448 (a)
T0	265,67 (cd)	-	17,45	1,27	3,61	75,39	2,28	1,115 (b)
SD	59,33 (d)	-	84,33	-	6,27	9,40	-	0,766 (c)

SD : sable déminéralisé, T0 : sol sous *M. latispinosa* après six mois de culture, T1 : sol sous *M. latispinosa* après un an de culture, T2 : sol sous *M. latispinosa* après trois ans de culture, TFC : sol issu de la forêt de la zone de conservation.

Le sol sous culture de *M. latipinosa* depuis un an présente l'indice de diversité de Shannon-Wiener le plus élevé (1,448) suivi du sol cultivé depuis six mois et du sol forestier, avec des valeurs respectives de 1,115 et de 1,231 (tabl. 2). Le sol sous *M. latispinosa* depuis trois ans présente l'indice le plus faible (0,566). Il n'existe aucune différence significative entre les indices de diversité des sols colonisés par *M. latispinosa* depuis six mois, un an et le sol forestier. Cependant, l'indice de diversité des MA dans le sol colonisé par *M. latispinosa* pendant trois ans a diminué significativement.

Discussion

Associées à des micro-organismes bénéfiques, tels que les bactéries fixatrices d'azote et les champignons mycorhiziens pour certaines espèces, les légumineuses, comme *M. latispinosa*, ont la capacité de se développer sur des écosystèmes fortement dégradés. Par ailleurs, leur utilisation dans les programmes de restauration est généralement conseillée (Chaer *et al.,* 2011). Notre étude a évalué l'évolution temporelle de la diversité des MA associés à *M. latispinosa* sur des sols déminéralisés après exploitation minière. En effet, parmi les micro-organismes interagissant avec les plantes, les MA jouent un rôle important dans la résistance et la survie des plantes dans ces milieux difficiles (Duponnois *et al.,* 2010). Cependant, notre étude montre que la déminéralisation du sol a un fort impact sur la densité et la diversité de ces champignons.

Par ailleurs, l'installation et le développement de *M. latsipinosa* induisent une augmentation significative au cours du temps de la densité des spores de MA. Toutefois, cette densité, même après trois années de culture, n'atteint pas celle des sols forestiers. Cela pourrait être lié à la diversité végétale relativement plus élevée dans la forêt (Xiang *et al.,* 2014).

L'identification des spores a mis en avant la famille des Glomeraceae. En effet, les espèces de cette famille, à laquelle la majorité des MA appartiennent, sont reconnues comme bien adaptées aux environnements soumis à des perturbations et à des stress (Bencherif *et al.,* 2015). Trois espèces de cette famille (*F. mosseae*, *G. hoi* et *R. intraradices*) sont ainsi toujours présentes, bien qu'en faibles quantités, dans le sol déminéralisé.

Une fois *M. latispinosa* mise en culture, deux espèces (*F. coronatum* et *Acaulospora* sp.) apparaissent et sporulent activement dès la première année de colonisation, puis la densité de spores diminue significativement lors de la troisième année de colonisation. En revanche, *Gigaspora* sp., pourtant présente dans le sol forestier, n'apparaît pas dans les sols après trois années de culture de *M. latispinosa*. Ces résultats s'accordent avec ceux de Maherali et Klironomos (2012) ; ces auteurs ont, en effet, mis en évidence que les espèces des Gigasporaceae présentent une colonisation limitée et lente et que, inversement,

les espèces des Glomeraceae colonisent rapidement et largement les racines. La compréhension des traits d'histoire de vie des champignons endomycorhiziens – c'est-à-dire leur capacité de colonisation, de dispersion et de tolérance face aux stress – est donc indispensable pour l'amélioration sur le long terme des programmes de restauration des écosystèmes miniers (Guo *et al.,* 2019).

Une augmentation significative de la densité de *G. hoi* après la mise en culture de *M. latispinosa* a également été mise en évidence. Ainsi, après trois ans de colonisation, une forte dominance de *G. hoi* est observée avec une fréquence relative de plus de 90 %. Cette dominance pourrait être expliquée par l'amélioration de la teneur en azote induite par la présence de *M. latipinosa*. En effet, Hodge et Fitter (2010) ont montré qu'un enrichissement en azote entraînait une prolifération des spores de petites tailles comme *Glomus*. D'un point de vue plus spécifique, Barrett *et al.* (2011) ont mis en évidence une implication directe de *G. hoi* dans la minéralisation de l'azote à partir de résidus organiques. Cette dominance quasi exclusive de *G. hoi* dans les sols sous *M. latispinosa* âgés de trois ans explique les faibles valeurs de l'indice de Shannon-Wiener. En effet, une communauté dominée par une espèce aura un coefficient inférieur à celui d'une communauté où toutes les espèces co-dominent (El Aymani *et al.,* 2019).

La monoculture de *M. latispinosa* lors de ces essais pourrait également être à l'origine de la dominance de *G. hoi,* puisque la composition de la communauté de champignons peut être fortement influencée par l'espèce-hôte (Lin *et al.,* 2015).

Conclusion

Cette étude a mis en évidence la dynamique (densité et diversité) des espèces de MA associées à *M. latispinosa* mise en culture sur des parcelles de sol déminéralisé et ce, dans l'écosystème minier de Mandena à Fort-Dauphin (Madagascar). La présence de *M. latispinosa* sur le sol déminéralisé a amélioré ses propriétés chimiques. Il convient tout de même de souligner que d'autres études sur la toxicité et la structure physique des sols seraient nécessaires pour compléter ces résultats.

Cette étude a également montré que, malgré l'amélioration des qualités chimiques des sols à réhabiliter, la culture monospécifique de *M. latipinosa* entraîne, après trois années, une diminution de la diversité des MA, avec une nette dominance de *G. hoi* par rapport aux autres espèces.

Les résultats de cette étude sont pionniers. Pour renforcer les processus de restauration écologique d'un écosystème minier, il est indispensable de continuer les recherches sur les mécanismes qui régissent la dynamique des micro-organismes bénéfiques dans un sol déminéralisé seront nécessaires.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour le financement accordé via le projet de recherche Decore[1], ainsi que les partenaires techniques (Qit Madagascar Minerals, QMM) et scientifiques (Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes, LSTM, à Montpellier). Ce travail n'aurait pu avoir lieu sans l'accord du Centre national de recherches sur l'environnement (CNRE) de Madagascar.

Références bibliographiques

Asmelash F., Bekele T., Birhane E., 2016
The potential role of arbuscular mycorrhizal fungi in the restoration of degraded lands. *Frontiers in microbiology*, *7* : 1095.

Azcon-Aguilar C., Palenzuela J., Roldan A., Bautista S., Vallejo R., Barea J. M., 2003
Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology*, 22 (1) : 29-37.

Barrett G., Campbell C. D., Fitter A. H., Hodge A., 2011
The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus hoi* can capture and transfer nitrogen from organic patches to its associated host plant at low temperature. *Applied Soil Ecology*, 48 (1) : 102-105.

Bencherif K., Boutekrabt A., Fontaine J., Laruelle F., Dalpè Y., Sahraoui A. L. H., 2015
Impact of soil salinity on arbuscular mycorrhizal fungi biodiversity and microflora biomass associated with *Tamarix articulata* Vahll rhizosphere in arid and semi-arid Algerian areas. *Science of the Total Environment*, 533 : 488-494.

Canavesio R., 2014
Formal mining investments and artisanal mining in southern Madagascar: effects of spontaneous reactions and adjustment policies on poverty alleviation. *Land Use Policy*, 36 : 45-154.

Chaer G. M., Resende A. S., Campello E. F. C., Faria S. M. (de), Boddey R. M., 2011
Nitrogen-fixing legume tree species for the reclamation of severely degraded lands in Brazil. *Tree Physiology*, 31 (2) : 139-149.

Duponnois R., Bâ A. M., Prin Y., Baudoin E., Galiana A., Dreyfus B., 2010
« Les champignons mycorhiziens : une composante majeure dans les processus biologiques régissant la stabilité et la productivité des écosystèmes forestiers tropicaux ». *In* Dia A. et Duponnois R. (éd.) : *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre*, IRD Éditions, coll. Synthèse, Marseille : 421-440.

El Aymani, I., El Gabardi S., Artib M., Chliyeh M., Selmaoui K., Ouazzani Touhami A., Douira A., 2019
Effect of the number of years of soil exploitation by saffron cultivation in Morocco on the diversity of endomycorrhizal fungi. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 54 (1) : 9-24.

1 Développement d'un pôle de compétences local en matière de restauration écologique de la végétation originelle et de production de bois dans les surfaces exploitées par Qit Madagascar Minerals (QMM) : importance des interactions biodiversité hypogée et épigée.

Guo Y., Hou L., Zhang Z., Zhang J., Cheng J., Wei G., Lin Y., 2019
Soil microbial diversity during 30 years of grassland restoration on the Loess Plateau, China: tight linkages with plant diversity. *Land Degradation & Development*, 30 (10) : 1172-1182.

Henry C., Raivoarisoa J.-F., Razafimamonjy A., Ramanankierana H., Andrianaivomahefa P., Ducousso M., Selosse M.-A., 2017
Transfer to forest nurseries significantly affects mycorrhizal community composition of *Asteropeia mcphersonii* Wildings. *Mycorrhiza*, 27 (4) : 321-330.

Hodge A., Fitter A. H., 2010
Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (31) : 13754-13759.

Houles A., 2017
Principe de facilitation appliqué à la restauration écologique de sites miniers dégradés : suivi des communautés ectomycorhiziennes au cours de successions végétales assistée par *Acacia spirorbis*. Thèse de doctorat, université de Montpellier, 242 p.

L'Huillier L., Jaffré T., Wulff A., 2010
Mines et environnement en Nouvelle-Calédonie : les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration. Éditions IAC, Institut agronomique néocalédonien, Nouméa. 411 p.

Lin G., McCormack M. L., Guo D., 2015
Arbuscular mycorrhizal fungal effects on plant competition and community structure. *Journal of Ecology,* 103 : 1224-1232.
DOI : 10.1111/1365-2745.12429

Liu J., Zhang X. H., Li T. Y., Wu Q. X., Jin Z. J., 2014
Soil characteristics and heavy metal accumulation by native plants in a Mn mining area of Guangxi, South China. *Environmental monitoring and assessment*, 186 (4) : 2269-2279.

Maherali H., Klironomos J. N. 2012
Phylogenetic and trait-based assembly of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *PLoS One*, 7 (5) : e36695.

Muthukumar T., Sathiyadash K., Uma E., Muniappan V., 2009
Arbuscular mycorrhizal morphology in sporophyte of *Psilotum nudum*. *Phytomorphology*, 59 (3/4) : 141-146.

Pauwels J. M., Van Ranst E., Verloo M., Mvondo Ze A., 1992
Manuel de laboratoire de pédologie. Méthodes d'analyses de sols et de plantes, équipement, gestion de stocks de verrerie et de produits chimiques. Publications agricoles 28. Administration générale de la coopération au développement, Bruxelles, Belgique et Centre universitaire de Dschang, 265 p.

Roger-Estrade J., 2013
Le sol, patrimoine vivant. *Pour*, 2013 (4) : 53-63.

Sarasin G., 2011
Biotechnologie des symbioses racinaires en restauration écologique des écosystèmes dégradés à Madagascar. Rapport de maîtrise, université Laval, 91 p.

Sieverding E., 1991
Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agroecosystems. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Bremer.

Xiang D., Verbruggen E., Hu Y., Veresoglou S. D., Rillig M. C., Zhou W., Xu T., Li H., Hao Z., Chen Y., Chen B., 2014
Land use influences arbuscular mycorhhizal fungal communities in the farming pastoral ecotone of northern China. *New Phytologist,* 204 : 968-978.

Chapitre 42

Fonctionnement microbien des sols rhizosphériques d'espèces végétales natives d'un écosystème minier de Madagascar

Rondro Harinisainana Baohanta
CNRE, Madagascar

Irinah Ratsizafy
CNRE, Madagascar
Université d'Antananarivo, Madagascar

Hermance Maevatiana
Université d'Antananarivo Madagascar

Felana Niaina Joseph Rakoto
Université d'Antananarivo, Madagascar

Martial Doret Andrianandrasana
CNRE, Madagascar

Faly Randriatafika
Qit Madagascar Minerals Rio Tinto, Madagascar

Jean Baptiste Ramanamanjato
Tropical Biodiversity & Social Enterprise, Madagascar

Tsoushima E. Razakatiana
CNRE, Madagascar

Hibrahim R. Ravonjimalala
CNRE, Madagascar

Herizo Randriambanona
CNRE, Madagascar

Robin Duponnois
IRD, France

Heriniaina Ramanankierana
CNRE, Madagascar

Introduction

Les exploitations minières ont des conséquences significatives sur l'environnement, entraînant la destruction des écosystèmes naturels et des risques de pollution ; elles peuvent également menacer les zones agricoles (Le Roux, 2002). Au terme d'une exploitation minière, une absence totale de sol arable, au sens pédologique et/ou biologique, est généralement constatée (Bradshaw, 1983). C'est pourquoi les acteurs de l'environnement cherchent comment faciliter la réhabilitation écologique de tels sites et comment accélérer les processus naturels de succession afin d'accroître la productivité biologique, de réduire les taux d'érosion des sols,

d'augmenter leur fertilité et de renforcer le contrôle biotique des flux biogéochimiques au sein des écosystèmes en cours de restauration (Parrotta, 1992).

Le choix des espèces végétales à prioriser durant la première étape du processus de restauration écologique est un critère essentiel qui peut avoir une influence significative sur la réussite de la revégétalisation de ces sites (Pidwirny, 2006). En effet, les espèces végétales sélectionnées doivent être non seulement capables de tolérer les conditions pédoclimatiques extrêmes des sites concernés mais aussi de s'y développer pour créer de nouveaux micro-habitats favorables à l'installation des nouvelles espèces (Manaut *et al.,* 2013). Parmi elles figurent quelques espèces arbustives pionnières, parfois baptisées « espèces cicatricielles », qui sont les premières à coloniser les sols dégradés (Pidwirny, 2006). Selon la théorie de la succession végétale, certaines espèces végétales pionnières peuvent agir comme des plantes facilitatrices vis-à-vis des plantules d'autres espèces ligneuses qui vont leur succéder (Baohanta *et al.,* 2012).

Ces plantes facilitatrices ou « plantes nurses » font l'objet de plusieurs études dans le cadre de programmes de restauration écologique (Baohanta, 2011 ; Houles, 2017 ; Danet *et al.*, 2017 ; Bordez *et al.,* 2018). En effet, ces plantes sont capables de restaurer les propriétés du sol par la stimulation des micro-organismes rhizosphériques ou par l'amélioration de sa qualité physicochimique, permettant ainsi l'installation d'autres espèces végétales. Ces espèces sont donc directement impliquées dans l'amélioration et le maintien de la fertilité des sols (Wezel *et al.,* 2000), via la formation d'îlots de fertilité qui favorisent l'activité microbienne du sol au niveau de la rhizosphère (Duponnois *et al.,* 2001 ; Ramanankierana *et al.,* 2006 ; Parraga-Aguado *et al.,* 2013).

Ainsi, connaître les caractéristiques du sol rhizosphérique d'une espèce – surtout lorsqu'il s'agit d'une espèce native – est un moyen efficace pour évaluer son potentiel dans une restauration écologique. En effet, les plantes natives caractéristiques d'une zone minière ont développé, au travers de la sélection naturelle, une tolérance au stress environnemental spécifique de la zone en plus de s'être adaptées au climat local (Liu *et al.,* 2014). Dans ce contexte, cette étude a pour objectif de caractériser le fonctionnement microbien des sols rhizosphériques de cinq espèces végétales caractéristiques de l'écosystème minier de Mandena à Madagascar. À terme, la finalité sera d'exploiter leur potentialité dans la mise en place d'un scénario de restauration écologique de cet écosystème minier en les combinant avec d'autres données telles que l'historique de l'écosystème, l'écologie des plantes et des micro-organismes bénéfiques, les paramètres sociaux, etc.

Matériels et méthodes

Prélèvements des échantillons de sol rhizosphérique

Les sols rhizosphériques de cinq espèces, trois pionnières (*Phillipia floribunda, Vernoniopsis caudata* et *Polyscia ornifolia)* et deux non pionnières (*Vaccinium emirnense* et *Morella spathulata),* ont été prélevés dans le site de Mandena Fort-Dauphin. Pour chaque espèce, le prélèvement a été effectué sous trois pieds différents. Pour chaque pied, trois prélèvements ont été effectués à des points différents. Les trois échantillons de sol ont été mélangés afin d'obtenir un sol composite. Au laboratoire, les sols ont été conservés à température ambiante à l'abri du soleil. Le sol forestier de la zone de conservation[1] et le sol déminéralisé ont servi de témoins.

Mesure de l'activité microbienne globale des sols

La méthode décrite par Schnürer et Rosswall (1982) a été utilisée pour mesurer l'activité microbienne des échantillons de sol. Le substrat d'hydrolyse est la fluorescéine di-acétate (FDA, Sigma F7378), mise en solution dans de l'acétone pure (concentration finale de 1 $mg.ml^{-1}$).

L'opération consiste à mesurer la quantité de fluorescéine produite pendant 1 heure d'incubation à 30 °C par le mélange composé de l'échantillon de sol (1 g) et du substrat (FDA) en présence d'une solution tampon (potassium phosphate, pH = 7,6).

Les réactions ont été arrêtées en ajoutant de l'acétone pure pour une concentration finale du mélange égale à 50 % (v/v), après une heure d'incubation à 30 °C sous agitation. Après centrifugation (5 mn à 10 000 tours/mn), les surnageants ont été récupérés par filtration sur du papier Wattman n° 1. L'absorbance des surnageants a été mesurée à 490 nm ; une gamme étalon de fluorescéine de concentration connue a été réalisée dans les mêmes conditions expérimentales. L'activité microbienne globale par type de sol est exprimée en microgrammes de fluorescéine libérés par heure et par gramme de sol (µg de fluorescéine.$h^{-1}.g^{-1}$ de sol).

Mesure de l'activité phosphatasique acide des sols

L'activité des phosphatases du sol a été déterminée selon la méthode décrite par Tabatabai *et al.* (1982) modifiée par Schinner *et al.* (1995). Le substrat d'hydrolyse est le p-nitrophényl phosphate (p-NPP) (Sigma 104-O phosphatase substrate) mis en solution dans de l'eau déminéralisée stérilisée (concentration finale 5 mM).

1 La zone de conservation est une zone à l'intérieur du site minier et qui est destinée à la conservation des espèces végétales et animales considérées comme particulières de ce site. Cette zone est considérée également comme étant la moins perturbée.

Les mélanges constitués par le substrat, l'échantillon de sol et la solution tampon (tampon universel modifié, à pH 6) ont été incubés à 37 °C sous agitation pendant une heure. La réaction a été arrêtée par l'ajout d'une solution de NaOH 0,5 M. Après centrifugation (5 mn à 10 000 tours.mn^{-1}) et filtration sur papier Wattman n° 1, la quantité de p-nitrophénol produite a été mesurée au spectrophotomètre (longueur d'onde de 400 nm). La teneur en p-nitrophénol produite a été calculée à partir de l'équation de régression linéaire ($y = ax + b$) obtenue à partir d'une courbe étalon. L'activité des phosphatases est exprimée en µg de p-nitrophénol.g^{-1}.h^{-1}.

Évaluation du nombre le plus probable de propagules

La richesse d'un sol en propagules endomycorhiziennes capables d'infecter les racines de plantes-hôtes est déterminée par la méthode du « nombre le plus probable » (NPP). Cette méthode consiste à déterminer la présence ou l'absence de champignons endomycorhiziens dans les racines de plantes endomycotrophes, ici le sorgho. Des graines pré-germées de sorgho ont été plantées sur chacun des types de sols dilués à l'aide de sable déminéralisé stérilisé (Kuszala et Gianinazzi, 2010). Après 21 jours de culture, les systèmes racinaires des plants de sorgho ont été récupérés et colorés selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) puis découpés en fragments d'environ 1 cm. Dix fragments ont été ensuite montés entre lame et lamelle (dix répétitions par dilution). La présence ou l'absence d'une colonisation mycorhizienne a été établie pour chaque fragment de racine. Le NPP a été calculé par la formule suivante :

$$\text{Log10 NPP} = (x \log a) - K$$

où x est la moyenne des godets mycorhizés, a le facteur de dilution et K est donné par la table de Fisher et Yates (1963)

Analyses statistiques

Pour toutes les variables étudiées, une analyse de variance a été effectuée (Anova). Les ensembles de données ne répondant pas aux hypothèses de l'Anova (normalité, homoscédasticité) ont été transformés selon les besoins, mais les résultats sont présentés dans leur échelle de mesure originale. Les moyennes ont été comparées selon le test de Newman-Keuls. La signification statistique a été déterminée à $p < 0,05$. Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel XLSTAT 2018.

Résultats

Activité microbienne globale des sols

Comme le montre la figure 1, l'activité microbienne globale du *topsoil* forestier de la zone de conservation se démarque significativement avec une activité de

l'ordre de 132,18 µg de fluorescéine.h^{-1}.g^{-1} de sol. Ensuite, vient le groupe formé par les sols sous *Vernoniopsis caudata*, *Morella spathulata*, *Vaccinium emirnense* et *Polyscia ornifolia*, avec des teneurs en fluorescéine libérées respectivement de 43,55 µg 44,10 µg ; 42,31 µg et 45,80 µg.h^{-1}.g^{-1} de sol. Le sol sous *Phillipia floribunda* présente l'activité la plus faible (29,82 µg de fluorescéine.h^{-1}.g^{-1} de sol) ainsi que le sol déminéralisé (15,64 µg de fluorescéine. h^{-1}.g^{-1} de sol).

Figure 1

Activité microbienne globale des sols.

TFC : *topsoil* de la forêt de la zone de conservation, PHI : sol sous *Phillipia floribunda*, VER : *Vernoniopsis caudata,* MOR : *Morella spathulata,* VAC : *Vaccinium emirnense,* POLY : *Polyscia ornifolia,* SD : sol déminéralisé.

Les barres d'histogramme surmontées de la même lettre (a, b ou c) ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité 0,05.

Activité phosphatasique acide des sols

La figure 2 montre l'activité de la phosphatase acide des différents sols rhizosphériques des espèces étudiées. Le sol sous l'espèce non pionnière *Vaccinium emirnense* a une activité phosphatasique significativement élevée par rapport aux autres sols avec 672,5 µg de p-nitrophénol.h^{-1}.g^{-1} de sol. Les sols sous les espèces pionnières sont dans un même groupe avec des activités phosphatasiques significativement élevées comparées à celle du sol forestier de référence. Les valeurs pour *Phillipia floribunda*, *Morella spathulata*, *Vernoniopsis caudata* sont respectivement de 585,73 ; 583,13 µg et 533,56 µg de p-nitrophénol.h^{-1}.g^{-1} de sol. Le sol sous *Polyscia ornifolia* et le *topsoil* de la forêt de la zone de conservation ont des activités significativement proches avec respectivement 173,98 et 220 µg de p-nitrophénol.h^{-1}.g^{-1} de sol.

Le sol déminéralisé a une activité significativement faible avec 11,74 µg de p-nitrophénol.h^{-1}.g^{-1} de sol. Les sols sous *Vaccinium emirnense*, *Phillipia floribunda*, *Morella spathulata* et *Vernoniopsis caudata* présentent de meilleures activités que le sol de référence.

Figure 2

Quantité de para-nitrophénol produite par heure et par gramme de sol rhizosphérique étudié.

TFC : *topsoil* de la forêt de la zone de conservation, PHI : sol sous *Phillipia floribunda*, VER : *Vernoniopsis caudata*, MOR : *Morella spathulata*, VAC : *Vaccinium emirnense*, POLY : *Polyscia ornifolia*, SD : sol déminéralisé.

Les barres d'histogramme surmontées de la même lettre (a, b ou c) ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité 0,05.

Potentiel infectieux mycorhizogène des sols

L'évaluation du potentiel infectieux mycorhizogène (PIM) des différents sols rhizosphériques (tabl. 1) a montré que le sol sous *Polyscia ornifolia* présente à la fois la densité de spores la plus élevée (3 609 spores/100 g de sol) mais aussi le nombre le plus probable de propagules (503,238 NPP/100 g de sol). Les autres espèces, pionnières ou non, ne présentent aucune différence significative que ce soit en termes de densité de spores ou de nombre le plus probable de propagules.

Le sol déminéralisé ne présente quasiment plus de PIM, puisque la densité de spores ainsi que son NPP sont très faibles.

Discussion

Concernant l'activité microbienne globale des sols, les résultats obtenus montrent que le *topsoil* de la forêt de la zone de conservation présente l'activité la plus élevée. Les sols rhizosphériques sous les espèces pionnières *Polyscia ornifolia* et *Vernoniopsis caudata*, montrent également des activités microbiennes globales élevées. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Andriatahiana (2015) et de Baohanta (2011) qui ont mis en évidence une activité microbienne globale significativement élevée dans des sols rhizosphériques de certaines plantes pionnières. En effet, l'importance des espèces pionnières dans l'amélioration des propriétés des sols a largement été documentée. L'accent est

Tableau 1
Densité de spores et nombre le plus probable de propagules de champignons endomycorhiziens dans 100 g de sol rhizosphérique.

Types de sol*	Densité de spores/100 g de sol**	Nombre le plus probable de propagules/100 g de sol
TFC	3 010,0 (b)	332,66 (a)
PHI	1 374,33 (c)	373,40 (a)
VER	1 457,00 (c)	460,59 (a)
MOR	1 251,33 (c)	332,66 (a)
VAC	1 015,50 (c)	373,40 (a)
POLY	3 601,00 (a)	503,23 (a)
SD	66,33 (d)	18,121 (b)

*TFC : *topsoil* de la forêt de la zone de conservation, PHI : sol sous *Phillipia floribunda,* VER : *Vernoniopsis caudata,* MOR : *Morella spathulata,* VAC : *Vaccinium emirnense*, POLY : *Polyscia ornifolia,* SD : sol déminéralisé.
** Les barres d'histogramme surmontées de la même lettre (a, b ou c) ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité 0,05.

généralement mis sur la capacité de ces espèces à former des îlots de fertilité grâce à la prolifération de micro-organismes au niveau de la rhizosphère (Ramanankierana *et al.*, 2006 ; Duponnois *et al.*, 2001). Cependant, *Phillipia floribunda,* une des espèces pionnières, diffère des deux autres car elle présente une activité significativement plus faible. Par ailleurs, *Vaccinium emirnense,* une Ericaceae non pionnière, présente une activité similaire à celle des espèces pionnières. En outre, l'activité microbienne globale d'un sol est influencée par ses caractères physicochimiques, le taux et la qualité de sa matière organique (Schnürer et Rosswal, 1982 ; Frankenberg et Dick, 1982) et par l'espèce qui le colonise (Cabugao *et al*., 2017). Une des caractéristiques des Ericaceae est de produire une litière riche en tanins qui engendre des accumulations de matière organique et des formes récalcitrantes d'azote dans les sols (Read *et al.*, 2004), essentiellement mobilisées par les symbiotes éricoïdes (Cornelissen *et al.*, 2001). Kraus *et al.* (2003) ont démontré que le tanin des Ericaceae peut influencer l'activité microbienne des sols en inhibant les enzymes extracellulaires et en rendant non disponibles certains substrats nécessaires à la croissance microbienne. D'après ces mêmes auteurs, la concentration en tanin peut varier selon l'espèce. C'est donc cette concentration en tanin qui pourrait être à l'origine de la différence des activités microbiennes.

En ce qui concerne la phosphatase acide, les sols sous Ericaceae (*Vaccinium emirnense et Phillipia floribunda*) présentent des activités significativement élevées. Dans la nature, les phosphatases acides prédominent et montrent une minéralisation optimale du phosphore dans les sols acides (Olander et Vitousek, 2000 ; George *et al.*, 2002 ; Doda et Tabatabai, 2003). Or, des études ont montré que la colonisation par les espèces d'Ericaceae entraînait une forte acidification du sol résultant généralement d'une libération de H^+ dans l'espace symplastique via l'action des H^+/ATPases (Álvarez *et al.*, 2010 ; Kim et Guerinot, 2007).

C'est donc cette acidification des sols qui pourrait être à l'origine de la forte activité dans les sols sous ces deux espèces. Pour les deux autres espèces pionnières, *Vernoniopsis caudata* et *Morella spathulata*, les résultats montrent des valeurs significativement supérieures à celles pour l'espèce secondaire *Polyscia ornifolia.* Ces résultats rejoignent encore ceux d'Andriatahiana (2015) et de Rabemanantsoa (2015) qui ont suggéré une activité importante de la phosphatase acide dans les sols sous les espèces pionnières. La production de phosphatases par les micro-organismes augmente la disponibilité des ions orthophosphates dans le sol (Marschne *et al.*, 2011). Par conséquent, la présence de ces enzymes est d'une grande importance dans les programmes de revégétalisation (Garcia, 2000). La forte activité phosphatasique des espèces pionnières de l'étude (*Phillipia floribunda, Vernoniopsis caudata)* pourrait donc contribuer à l'amélioration de la teneur en phosphore des sols à restaurer.

Le potentiel infectieux mycorhizogène d'un sol est d'une grande importance dans le cadre d'un projet de restauration des sols perturbés, notamment pour la valorisation des plantes facilitatrices (Sanon, 2005 ; Baohanta, 2011 ; Duponnois *et al.*, 2013). Les espèces pionnières tiennent ainsi une place importante dans la restauration des potentialités mycorhizogènes des sols dégradés (Azcon-Aguilar *et al.*, 2003). Les résultats obtenus au cours de cette étude ont ainsi mis en évidence que les sols sous l'espèce pionnière *Polyscia ornifolia* présentent à la fois la densité de spores et le NPP les plus élevés par rapport aux autres sols. De plus, les deux autres espèces pionnières induisent des valeurs de NPP similaires à celles du sol forestier bien que la densité des spores y soit significativement plus faible.

La symbiose mycorhizienne joue un rôle important dans la survie des espèces végétales. En effet, cette association symbiotique donne à certaines plantes pionnières la capacité de coloniser des sols dégradés, fréquemment carencés en éléments nutritifs tels que le phosphore ou l'azote (Duponnois *et al.*, 2007). Ainsi, l'installation d'espèces pionnières mycotrophes favoriseraient par la suite le développement d'autres espèces végétales via leur effet reconnu de « plantes nurses » (Azcon-Aguilar *et al.*, 2003). Les trois espèces pionnières de cette étude présentent un potentiel mycorhizogène intéressant et pourraient donc être valorisées dans le projet de restauration du site minier de Mandena. *Vernoniopsis caudata* et *Morella spathulata,* déjà évaluées comme des espèces pionnières hautement mycotrophes (Ramanankierana *et al.,* 2014), pourraient potentiellement jouer ce rôle de « plantes nurses ».

Conclusion

Les résultats de la présente étude ont mis en évidence que les espèces pionnières étudiées (*Phillipia floribunda*, *Vernoniopsis caudata* et *Morella spathulata)* présentent des caractéristiques microbiologiques intéressantes. Cependant, ce

sont surtout *Vernoniopsis caudata* et *Morella spathulata* qui disposent des bonnes caractéristiques microbiologiques (activités enzymatiques et richesse en propagules apte à générer une mychorization). Par ailleurs, le sol rhizosphérique de l'espèce non pionnière *Vaccinium emirnense* a des caractéristiques microbiologiques très intéressantes, similaires à celles des espèces pionnières. *V. emirnense* serait ainsi valorisable, au même titre que les espèces pionnières, dans un projet de restauration écologique. Enfin, *Polyscia ornifolia* est une source intéressante de propagules pour des inoculations futures. Ces résultats ouvrent des perspectives de valorisation des espèces pionnières natives de la région pour l'amélioration des propriétés microbiologiques des sols à restaurer et la création des conditions nécessaires à la succession végétale.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) pour le financement accordé via le projet de recherche « Développement de la compétence locale en matière de restauration écologique du site minier de Mandena Fort Dauphin : importance des interactions hypogées et épigées » (Decore), ainsi que les partenaires techniques (Qit Madagascar Minerals, QMM) et scientifiques (Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes, LSTM, à Montpellier). Ce travail n'aurait pu avoir lieu sans l'accord du Centre national de recherches sur l'environnement (CNRE) à Madagascar.

Références bibliographiques

Álvarez E., Fernández-Sanjurjo M., Otero X. L., Macías F., 2010
Aluminium geochemistry in the bulk and rhizospheric soil of the species colonising an abandoned copper mine in Galicia (NW Spain). *Journal of Soils and Sediments*, 10 (7) : 1236-1245.

Andriatahiana L., 2015
Structure et fonctionnement des champignons mycorhiziens à vésicules et à arbuscules associés aux plantes pionnières de la forêt de Ranomafana-Est. Mémoire de master, université d'Antananarivo, 69 p.

Azcon-Aguilar C., Palenzuela J., Roldan A., Bautista S., Vallej R., Barea J. M., 2003
Analysis of the mycorrhizal potential in the rhizosphere of representative plant species from desertification-threatened Mediterranean shrublands. *Applied Soil Ecology*, 22 (1) : 29-37.

Baohanta R. H., 2011
*Facilitation de la régénération d'*Uapaca bojeri *L. par la gestion des communautés de champignons mycorhiziens associés aux espèces pionnières de la zone dégradée de la forêt sclérophylle d'Arivonimamo*. Thèse de doctorat, université d'Antananarivo, 190 p.

Baohanta R., Thioulouse J., Ramanankierana H., Prin Y., Rasolomampianina R., Baudoin E., Rakotoarimanga, Galiana A., Randriambanona H., Lebrun M., Duponnois R., 2012
Restoring native forest ecosystems after exotic tree plantation in Madagascar: combination of the local ectotrophic species *Leptolena bojeriana* and *Uapaca bojeri* mitigates the negative influence of the exotic species *Eucalyptus camaldulensis* and *Pinus patula*. *Biological Invasions*, 14 (11) : 2407-2421.

Bordez L., Fogliani B., L'huillier L., Amid H., 2018
Guide sur l'utilisation des topsoils en restauration écologique des terrains miniers. CNRT Nickel, Nouvelle-Calédonie, 91 p.

Bradshaw A. D, 1983
Reconstruction of ecosystems: Presidential address to the British Ecological Society, December 1982. *Journal of applied ecology*, 20 (1) : 1-17.

Cabugao K. G., Timm C. M., Carrell A. A., Childs J., Lu Tse Yuan S., Pelletier D. A., Weston D. J., Norby R. J., 2017
Root and rhizosphere bacterial phosphatase activity varies with tree species and soil phosphorus availability in Puerto Rico tropical forest. *Frontiers in Plant Sciences*, 8 : 1-14.

Cornelissen J., Aerts R., Cerabolini B., Werger M., Van Der Heijden M., 2001
Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy. *Oecologia*, 129 (4) : 611-619.

Danet A., Kéfi S., Meneses R. I., Anthelme F., 2017
Nurse species and indirect facilitation through grazing drive plant community functional traits in tropical alpine peatlands. *Ecology and evolution*, 7 (24) : 11265-11276.

Doda E. D., Tabatabai M. A., 2003
Effect of cropping systems on phosphatase in soils. *Soil Science*, 160 : 7-13.

Duponnois R., Plenchette C., Prin Y., Ducousso M., Kisa M., Bâ A. M., Galiana A., 2007
Use of mycorrhizal inoculation to improve reafforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecological engineering*, 29 (1) : 105-112.

Duponnois R., Plenchette C., Thioulouse J., Cadet P., 2001
The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology*, 17 (3) : 239-251.

Duponnois R., Ramanankierana H., Hafidi M., Baohanta R., Baudoin E., Thioulouse J., Sanguin H., Galiana A., Bally R., Lebfrun M., Prin Y., 2013
Des ressources végétales endémiques pour optimiser durablement les opérations de réhabilitations du couvert forestier en milieu méditerranéen et tropical : exemple des plantes facilitatrices vectrices de propagation des champignons mycorhiziens. *Comptes rendus Biologies,* 336 (5-6) : 265-272.

Fisher R.a., Yates F., 1963
Statistical tables for biological, agricultural and medical research. 6th ed., Oliver And Boyd, London, 155 p.

Frankenberger W. T., Dick W. A., 1982
Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 47 : 945-951.

Garcia C., 2000
Organic amendment and mychorizal inoculation as a practice in afforestation of soil with *Pinus hallepensis* Miller: effect on their soil microbial activity. *Soil Microbiology and Biochemistry*, 32 : 1173-1181.

George T. S., Gregory P. J., Wood M., Buresh R. J., 2002
Phosphatase activity and organics acids in the rhizosphere of potential agroforestry. *Soil Biology and Biochemistry,* 34 : 1487-1494.

Houles A., 2017
Principe de facilitation appliqué à la restauration écologique de sites miniers dégradés : suivi des communautés ectomycorhiziennes au cours de successions végétales assistée par Acacia spirorbis. Biologie végétale. Thèse de doctorat, université de Montpellier, 221 p.

Kim S., Guerinot M. L., 2007
Mining iron: iron uptake and transport in plants. *FEBS Letters,* 581 : 2273-2280.

Kraus T. E., Dahlgren R. A., Zasoski R. J., 2003
Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems-a review. *Plant and soil*, 256 (1) : 41-66.

Kuszala C., Gianinazzi S., 2010
Méthode simple pour évaluer le potentiel endomycorhizogène d'un inoculum. *Cahier des techniques de l'Inra*, 70 : 17-24.

Le Roux C., 2002
La réhabilitation des mines et carrières à ciel ouvert. *Bois et forêt des tropiques*, 272 (2) : 5-19.

Liu J., Zhang X. H., Li T. Y., Wu Q. X., Jin Z. J., 2014
Soil characteristics and heavy metal accumulation by native plants in a Mn mining area of Guangxi, South China. *Environmental monitoring and assessment*, 186 (4) : 2269-2279.

Manaut N., Hafidi M., Ouahmmou A., Baudoin E., Chafi Zado C. I., Prin Y., Ouahmane L., Sanguin H., Galiana A., Boumezzough A., Duponnois R., 2013
« Plante nurse : vecteur de propagation de champignons mycorhiziens pour optimiser les performances des opérations de reboisement au Maroc ». *In* Duponnois R., Hafidi M., Ndoye I., Ramanankierana H., Bâ A. M. (éd.) : *Des champignons symbiotiques contre la désertification : écosystèmes méditerranéens, tropicaux et insulaires*. IRD Éditions, Marseille : 301-409.

Marschner P., Crowley D., Rengel Z., 2011
Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis-model and research methods. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (5) : 883-894.

Olander L. P., Vitousek P. M, 2000
Regulation of phosphatase and chitinase activity, azote and phosphor availability. *Biogeochemistry*, 49 : 175-190.

Parraga-Aguado I., Gonzalez-Alcaraz M. N., Alvarez-Rogel J., Jimenez-Carceles F. J., Conesa H. M., 2013
The importance of edaphic niches and pioneer plant species succession for the phytomanagement of mine tailings. *Environmental pollution*, 176 : 134-143.

Parrotta J. A., 1992
The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 41 (2) : 115-133.

Phillips J. M., Hayman D. S., 1970
Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55 (1) :158-161.

Pidwirny M., 2006
Plant succession. Fundamentals of physical geography, 2nd Edition. http://www.physical geography.net/fundamentals/9i.html

Rabemanantsoa M. F., 2015
Fonctionnement des communautés microbiennes des sols dégradés : importance des plantes pionnières. Mémoire de master 2, université d'Antananarivo, Madagascar, 61 p.

Ramanankierana N., Rakotoarimanga N., Thioulouse J., Marija K., Randrianjohany E., Ramaroson L., Duponnois R., 2006
The ectomycorrhizosphere effect influences functional diversity of soil microflora. *International Journal of Soil Science, Academic Journals Inc*., 1 : 8-19.

Ramanankierana H., Baohanta R. H., Thioulouse J., Prin Y., Randriambanona H., Baudoin E., Rakotoarimanga N., Galiana A., Rajaonarimamy E., Lebrun M., Duponnois R., 2014
"Early Growth improvement of endemic tree species by soil mycorrhizal management in Madagascar", *In* Busso C. A. (ed.) : *From seed germination to young plants: ecology, growth and environmental influences*. Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires, Nova science Publisher, New York : 285-308

Read D. J., Leake, J. R., Perez-Moreno J., 2004
Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes. *Canadian Journal of Botany*, 82 : 1243-1263.

Sanon A. A., 2005
Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules dans les mécanismes régissant la coexistence entre espèces végétales. DEA de Sciences du sol, université Henri Poincaré-Nancy.

Schinner F., Öhlinger R., Kandeler E., Margesin R., 1995
Methods in soil biology. Springer Lab Manual. Springer, Berlin, 426 p.

Schnürer J., Rosswall T., 1982
Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and environmental microbiology*, 43 (6) :1256-1261.

Tabatabai M. A., Bremner J. M., 1969
Use of pnitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry,* 1 : 301-307.

Tabatabai M. A., 1982
"Soil enzymes", *In* Page A. L., Miller R. H., Keeney D. R. (eds.) : Methods of soil analysis. Part 2. *Agronomy*, 9 : 903-947.

Wezel A., Rajot J. L., Herbrig C., 2000
Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *Journal of arid environments*, 44 (4) : 383-398.

Traitement de scarification pré-germinatif des graines pour une restauration écologique des zones dégradées

Cas de *Millettia taolanaroensis* Du Puy & Labat (Fabaceae) de Madagascar

Felana Niaina Joseph RAKOTO
Université d'Antananarivo, Madagascar

Vahatra Ainga Tahina RANDRIANIRINA
Université d'Antananarivo, Madagascar

Herizo RANDRIAMBANONA
CNRE, Madagascar

Martial Doret ANDRIANANDRASANA
CNRE, Madagascar

Rondro Harinisainana BAOHANTA
CNRE, Madagascar

Faly RANDRIATAFIKA
Rio Tinto, Madagascar

Jean Baptiste RAMANAMANJATO
Tropical Biodiversity
& Social Enterprise, Madagascar

Tsoushima E. RAZAKATIANA
CNRE, Madagascar

Vonjison RAKOTOARIMANANA
Université d'Antananarivo, Madagascar

Heriniaina RAMANANKIERANA
CNRE, Madagascar

Introduction

Le genre *Millettia,* composé d'arbres, d'arbustes et de lianes, appartient à la famille des Fabaceae. Il compte 260 espèces dans les régions tropicales et subtropicales du monde (BANZOUZI *et al.*, 2008). Parmi les 139 espèces rencontrées en Afrique, il existe neuf espèces à Madagascar, dont huit sont endémiques (DU PUY *et al.*, 2002) et une est introduite (KULL *et al.*, 2012). *Millettia taolanaroensis* est l'une de ces espèces endémiques ; elle se rencontre

uniquement dans les environs de Fort-Dauphin au sud-est de Madagascar. C'est une espèce arborée en voie de disparition, occupant moins de 500 km^2 de la forêt littorale. Son habitat est fragmenté et menacé par l'exploitation et l'extraction minière (Du Puy *et al.*, 2002 ; Banzouzi *et al.*, 2008). *M. taolanaroensis* est connue pour être un poison de pêche (Du Puy *et al.*, 2002), et aussi pour ses propriétés insecticides (Rajemiarimiraho *et al.*, 2014), et pour l'utilité de son bois (Banzouzi *et al.*, 2008). Les Fabaceae, ou légumineuses, pourraient jouer un rôle important dans la restauration des sols appauvris en azote, et être utilisées comme des espèces pionnières prioritaires pour la réhabilitation des forêts tropicales humides dégradées, grâce à leur symbiose fixatrice d'azote avec les *rhizobia* (Diabaté *et al.*, 2005). Leur symbiose permet en effet d'améliorer la nutrition azotée, d'augmenter la séquestration du carbone dans le sol, de stabiliser la matière organique du sol et d'améliorer la fertilité du sol (Moura *et al.*, 2020). En outre, les bactéries fixatrices ont des capacités interfonctionnelles essentielles pour les plantes qui améliorent leur croissance (Tang *et al.*, 2020).

À Fort-Dauphin, la société Rio Tinto QMM (Qit Madagascar Minerals) exploite une nouvelle mine d'ilménite depuis 2008, localisée dans un environnement naturel très sensible aux perturbations, avec un taux d'endémisme des espèces élevé et un écosystème littoral unique. Ainsi, Rio Tinto QMM s'est engagée à respecter la conservation de la biodiversité sur les sites mais également à restaurer la zone dégradée par les activités minières. Dans ce contexte, *M. taolanaroensis* pourrait être une bonne candidate pour la restauration de la zone dégradée tout en assurant en même temps sa conservation. Pour avoir un grand nombre de plants, l'utilisation de semences est la méthode la plus courante et la moins chère (Kim *et al.*, 2008). Cependant, le processus de germination est considéré comme le facteur le plus important et le plus crucial dans le cycle de vie d'une plante (Vange *et al.*, 2004 ; Bu *et al.*, 2008). En outre, la propagation de la plupart des espèces tropicales d'arbres est limitée par le degré de dormance qui rend difficile la germination uniforme et adéquate des graines (Amusa, 2011). Le type de dormance des graines de *M. taolanaroensis* n'est pas encore connu et aucune étude sur leur germination n'a été entreprise. Les graines de nombreuses légumineuses ont un tégument dur, ce qui rend difficile l'imbibition d'eau et empêche les échanges gazeux (Teketay, 1996 ; Bolingue *et al.*, 2010). Plusieurs prétraitements ont été utilisés pour améliorer la germination des graines caractérisées par des téguments durs : les scarifications mécaniques, à l'acide, à l'eau froide, à l'eau chaude et à l'eau bouillante (Teketay, 1996 ; Alamgir et Hossain, 2005 ; Rasebeka *et al.*, 2014 ; Fredrick e*t al.*, 2017, Opoku *et al.*, 2018 ; Botumile *et al.*, 2020). Ces techniques optimisent la germination en permettant de surmonter la dormance des graines pendant une durée courte (Tadros *et al.*, 2011 ; Mojeremane *et al.*, 2017 ; Odirile *et al.*, 2019). Dans ce contexte, l'objectif de cette étude a été de déterminer un traitement pré-germinatif efficace pour obtenir une capacité germinative optimale et une croissance vigoureuse des plantules de *M. taolanaroensis* afin de les produire en grande quantité.

Matériels et méthodes

Provenances des graines

Les semences de *M. taolanaroensis* (fig. 1) utilisées proviennent de Petrika Fort-Dauphin (S 25°04’ 16,4” ; E 46° 50’ 22,8”, à une altitude de 14 m), au sud-est de Madagascar. Elles ont été récoltées en octobre 2019. Les fruits mûrs tombés à terre ont été ramassés. Ils ont été décortiqués et les graines obtenues ont été conservées à température ambiante au laboratoire.

Figure 1
Millettia taolanaroensis.
A : port, B : feuilles et fruits, C : gousses et graines.
© Felana Niaina Joseph Rakoto.

Traitements pré-germinatifs des graines

Après un mois de stockage, les graines ont été soumises aux différents traitements de scarification afin d’améliorer leur germination. Pour la scarification chimique, les graines ont été trempées dans de l’acide sulfurique concentré (H_2SO_4) pendant deux temps, 15 s et 1 mn, puis lavées abondamment avec de l’eau pour enlever les traces d’acide. Dans le cas de la scarification thermique, les graines ont été trempées dans de l’eau chaude à 60 °C pendant 30 s, 5 mn et 30 mn, et d’autres graines dans de l’eau froide (température ambiante) pendant 10 mn et 15 mn Concernant le prétraitement par lixiviation, les graines ont été trempées dans de l’eau à température ambiante pendant 8 h en renouvelant l’eau toutes les heures.

Semis des graines et entretien

Les graines prétraitées et les graines témoins (sans prétraitement) ont été semées dans du sable stérilisé dans un germoir installé sous serre du Laboratoire de microbiologie de l’environnement (LME) du Centre national de recherches sur l’environnement (CNRE) de Madagascar. Cinq répétitions (avec vingt graines) ont été faites pour chaque traitement. Les graines ont été arrosées avec de l’eau courante deux fois par jour pour maintenir le substrat humide. La température du germoir a été maintenue à 30 °C avec un ombrage, afin de simuler les conditions dans lesquelles vivent les espèces en milieu naturel.

Suivi et calcul des paramètres de germination

Le comptage des graines germées a été réalisé tous les jours jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de nouvelle germination. Une graine a été considérée germée lorsque les deux feuilles cotylédonaires apparaissaient (Benmahioul *et al.*, 2010). Pour mesurer la réussite de la germination en fonction des traitements pré-germinatifs, les paramètres suivants ont été considérés : le taux de germination final (TG), le temps moyen de la germination (TMG) et la cinétique de la germination.

Le taux de germination final a été calculé par la formule suivante (Labouriau, 1983) :

$$TG\ (\%) = G/N \times 100$$

avec *G*, le nombre total de graines germées et *N*, le nombre total de graines semées.

Le temps moyen de la germination a été obtenu par la formule suivante (Ranal et Santana, 2006) :

$$TMG = \Sigma\ (ni \times ti)/N$$

avec *ni*, le nombre de graines nouvellement germées au temps *ti*, *ti*, le nombre de jours depuis la date de semis et *N*, le nombre total de graines germées.

Mesures des paramètres de croissance des plantules

La hauteur et le nombre de folioles des plantules témoins et des quinze plantules les plus développées après chaque traitement pré-germinatif des graines ont été mesurés un mois après le semis. La variation de ces mesures explique la croissance des plantules et permet de définir le traitement favorable pour obtenir des plants vigoureux.

Analyses statistiques des données

À l'aide du logiciel XLSTAT 2014.5.03, un test de Kruskal-Wallis a été effectué et les moyennes ont été comparées selon la procédure de Dunn, suivie de la correction de Bonferroni.

Résultats

Effet des scarifications sur la germination des graines

L'évolution de la germination de *M. taolanaroensis* en fonction du temps et suivant les différents traitements pré-germinatifs des graines est présentée par la figure 2. Le temps de latence, c'est-à-dire le temps écoulé entre le semis

et la première germination, se situe entre 9 et 13 jours. La scarification des graines avec de l'acide sulfurique pendant 1 mn réduit le temps de latence (9 ± 0,44 jours), suivie par la scarification avec de l'acide sulfurique pendant 15 s (10 ± 0,01 jours), puis avec de l'eau chaude à 60 °C pendant 30 s (10 ± 0,44 jours). Les graines témoins ont un temps de latence plus long (13 ± 0,54 jours). Ensuite, une augmentation proportionnelle des graines germées avec le temps est observée.

Des différences significatives du taux de germination final (TG) ont été observées entre les graines qui ont reçu des traitements pré-germinatifs et les témoins non traités. Les traitements pré-germinatifs ont des effets positifs sur la réussite de la germination des graines de *M. taolanaroensis*. Le TG a même doublé par rapport à celui du témoin (50 ± 10 %) pour les graines trempées dans de l'eau chaude à 60 °C pendant 30 s et 5 mn (100 ± 0 %). Le TG est de 95 ± 8,66 % pour les graines traitées avec de l'acide sulfurique pendant 1 mn et avec de l'eau froide pendant 15 mn et pendant 8 h.

Le temps moyen de la germination (TMG) varie également selon les traitements pré-germinatifs des graines, entre 12 et 19 jours. Les graines traitées avec de l'acide sulfurique (1 mn) présentent un TMG plus court (12 ± 0,56 jours). Ce sont les graines témoins et celles qui ont été traitées avec de l'eau à température ambiante pendant 15 mn qui ont le TMG le plus long, avec une durée de 19 ± 5,18 jours et de 19 ± 1,94 jours respectivement.

Figure 2
Cinétique de la germination de M. taolanaroensis
sous l'effet des différents traitements pré-germinatifs.

Effet des scarifications sur la croissance des plantules

La hauteur des plantules varie de 2,54 à 3,44 cm un mois après le semis (tabl. 1). Statistiquement, la hauteur des plantules issues du traitement avec de l'acide sulfurique pendant 15 s est élevée (3,44 ± 0,82 cm) par rapport à celle obtenue par les autres traitements. C'est avec le traitement utilisant l'eau ambiante pendant 15 mn que les plantules sont les plus courtes (2,54 ± 0,58 cm). Quant au nombre de folioles, il varie de 9 à 13, et aucune différence significative entre les traitements n'est observée.

Tableau 1
Hauteur et nombre de folioles des plantules de M. taolanaroensis
selon les différents traitements pré-germinatifs

Traitement pré-germinatif	Hauteur (cm)*		Nombre de folioles*	
Acide sulfurique (15 s)	3,44 ± 0,82	*b*	13 ± 3	*a*
Acide sulfurique (1 mn)	2,96 ± 0,54	*ab*	15 ± 5	*a*
Eau ambiante (10 mn)	3,23 ± 0,64	*ab*	9 ± 5	*a*
Eau ambiante (15 mn)	2,54 ± 0,58	*a*	9 ± 6	*a*
Eau ambiante (8 h)	2,96 ± 0,56	*ab*	13 ± 3	*a*
Eau chaude 60 °C (30 s)	2,77 ± 0,75	*ab*	11 ± 2	*a*
Eau chaude 60 °C (5 mn)	2,82 ± 0,61	*ab*	11 ± 2	*a*
Eau chaude 60 °C (30 mn)	2,75 ± 0,49	*ab*	13 ± 6	*a*
Témoin	2,96 ± 0,95	*ab*	12 ± 2	*a*

* Les moyennes suivies de la même lettre (*a*, *b*, *ab*) dans une même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test statistique.

Discussion

Le traitement des graines avec de l'acide sulfurique permet d'améliorer le taux de germination et de diminuer le temps nécessaire. Le trempage des graines dans l'acide sulfurique pendant 1 mn donne un taux de germination jusqu'à 95 %, un temps de latence plus court (9 jours) et un temps moyen de germination de 12 jours. Ces résultats corroborent ceux rapportés dans la littérature qui stipulent que l'acide sulfurique perturbe le tégument de la graine en permettant l'entrée de l'eau et en déclenchant la germination (Nikoleave, 1977 ; Amusa, 2011 ; Mojeremane *et al.*, 2020) par sa capacité à éliminer la couche cireuse ou la matière dure du tégument de la graine (Bhattacharya et Saha, 1990 ; Agbogidi *et al.*, 2007). En outre, l'acide sulfurique stimule les activités biochimiques et physiologiques nécessaires à la germination (Akinyele et Ibeh, 2020). Les résultats de cette étude sont donc expliqués par ces effets de l'acide sur la graine, surtout sur le tégument, et corroborent ceux d'autres études similaires menées sur d'autres espèces de

légumineuses (Sy *et al.*, 2001 ; Aref *et al.*, 2011 ; Fredrick *et al.*, 2017 ; Mojeremane *et al.*, 2020). Le taux de germination relativement faible obtenu avec le trempage dans l'acide sulfurique pendant 15 s peut s'expliquer par le fait que le tégument de la graine n'a pas été suffisamment ramolli pour laisser passer l'eau et l'oxygène (Aduradola et Badru, 2004).

Le traitement avec de l'eau chaude à 60 °C pendant 30 s et 5 mn double le taux de germination (100 %) mais avec un temps moyen de germination égal à celui du témoin. Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre le taux de germination des graines trempées dans l'eau chaude pendant 30 mn et celui des graines non traitées. L'eau chaude a probablement ramolli les enveloppes des graines et a ainsi permis l'entrée d'eau et d'air, induisant la germination (Rasebeka *et al.*, 2014 ; Mojeremane *et al.*, 2020). En outre, l'eau chaude a également pu éliminer les inhibiteurs chimiques de la germination (Mwase et Mvula, 2011). Pourtant, la baisse du taux de germination avec la durée de trempage dans l'eau chaude (de 30 mn) serait due à une durée excessive d'exposition à la chaleur, ce qui aurait endommagé les graines (Phartyal *et al.*, 2005) en affectant l'embryon (Dantani *et al.*, 2019). Il est donc recommandé de ne pas tremper les graines de *M. taolanaroensis* dans de l'eau chaude pendant une durée excédant 5 mn.

Le traitement de *M. taolanaroensis* avec de l'eau à température ambiante, quelle que soit la durée (10 mn, 15 mn), donne un meilleur taux de germination (90 % et 95 % respectivement) par rapport au taux témoin (50 %). Cependant, ce traitement n'a pas d'influence sur la réduction du temps de germination. L'eau ambiante fait partie des traitements qui ont la capacité de ramollir le tégument des graines, le rendant ainsi perméable à l'eau afin d'initier la germination (Dantani *et al.*, 2019). Nos résultats sont étayés par ceux de Falemara *et al.* (2013) qui ont rapporté que le trempage dans l'eau à température ambiante améliore la germination des graines d'arbres tropicaux.

Le taux de germination obtenu avec le traitement par lixiviation concorde avec celui obtenu avec le trempage des semences dans de l'eau à température ambiante. En effet, la lixiviation consiste également à tremper les graines dans de l'eau à température ambiante mais durant un temps plus long. De plus, le trempage dans l'eau permet de dissoudre et de lixivier les composés chimiques causant la dormance (Dehgan *et al.*, 2003).

Plusieurs auteurs affirment que la scarification des graines par des acides est une méthode efficace pour rompre la dormance et améliorer la germination des graines ayant des téguments durs et imperméables (Mcdonald et Omoruyi 2003 ; Likoswe *et al.*, 2008 ; Botsheleng *et al.*, 2014). Le même effet est également obtenu avec le traitement utilisant l'eau chaude (Mojeremane *et al.*, 2017). En outre, il est rapporté que la plupart des espèces de Fabaceae ont des graines dures et imperméables à l'eau (Teketay, 1996 ; Baskin et Baskin, 2004), et notre espèce cible, *M. taolanaroensis,* ne fait pas exception. Par déduction, la dormance de ses graines est probablement associée à leur tégument. Selon Falemara *et al.* (2014), le tégument dur et imperméable à l'eau des graines exerce une dormance physique exogène.

Conclusions et perspectives

Cette étude a évalué l'effet de trois types de scarification des graines avant semis, à savoir chimique, thermique et par lixiviation, sur la germination et la croissance des plantules de *M. taolanaroensis*. À l'issue de cette étude, nous pouvons dire que ces trois types de scarification améliorent le taux de germination des graines de *M. taolanaroensis.* Le traitement avec l'acide sulfurique pendant 1 mn donne le meilleur taux de germination avec un temps moyen de germination réduit. De plus, le traitement avec l'acide sulfurique pendant 15 s augmente significativement la hauteur des plantules. Dans les situations où l'utilisation d'un prétraitement à l'acide pourrait être limitée à cause de son coût élevé et des facteurs de risques, le traitement avec de l'eau chaude à 60 °C pendant une période de trempage de 30 s à 5 mn peut être adopté. Enfin, ces résultats suggèrent que les graines de *M. taolanaroensis* ont des téguments durs comme la plupart des légumineuses, entraînant leur dormance physique.

Dans le cadre d'un projet qui visait à utiliser le genre *Millettia* dans la restauration des zones dégradées, cette étude nous a permis d'améliorer le taux de germination des graines de *M. taolanaroensis* afin de les obtenir en masse. Cependant, il sera également nécessaire de déterminer la durée optimale de conservation des graines pendant laquelle celles-ci peuvent garder leur capacité germinative.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier vivement le programme « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D), qui a financé cette recherche, ainsi que ses partenaires : la société Rio Tinto QMM (Qit Madagascar Minerals), la société Canopy Madagascar et le Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (LSTM) de Montpellier. Notre gratitude va également au Laboratoire de microbiologie de l'environnement (LME) du Centre national de recherches sur l'environnement (CNRE) à Madagascar pour avoir fourni des ressources matérielles, notamment le laboratoire et la serre, afin de mener à bien notre recherche.

Références bibliographiques

Aduradola A. M., Badru U., 2004
Aspects of germination in seeds of *Afzelia Africana* Sm. and *Terminalia ivorensis* A. Chev. *Annales des sciences agronomiques du Bénin,* 6 : 175-184.

Agbogidi O. M., Bosah B. O., Eshegbeyi O. F., 2007
Effects of acid pre-treatment on the germination and seedling growth of African Pear (*Dacryodes edulis* Don. G. Lam. HJ). *Int. Journal of agricultural research*, 2 : 952-958.

Akinyele A. O., Ibeh K. G., 2020
Effect of pawpaw latex, plantain stem juice and sulphuric acid on seed germination of *Albizia lebbeck* (L.) Benth. *Journal of Research in Forestry, Wildlife & Environment,* 12 : 277-285.

Alamgir M., Hossain M. K., 2005
Effect of pre-sowing treatments on germination and initial seedling development of *Albizia saman* in the nursery. *Journal of Forestry Research,* 16 : 200-204.

Amusa T. O., 2011
Effects of three pre-treatment techniques on dormancy and germination of seeds of *Afzelia africana* (Sm. ex pers.). *Journal of Horticulture and Forestry,* 3 : 96-103.

Aref I. M., Alta H. A. E., Shahrani T. A., Mohamed A. I., 2011
Effects of seed pretreatment and seed source on germination of five *Acacia* spp. *African Journal of Biotechnology,* 10 : 15901-15910.

Banzouzi J. T., Prost A., Rajemiarimiraho M., Ongoka P., 2008
Traditional uses of the African *Millettia* species (Fabaceae). *International Journal of Botany,* 4 : 406-420.

Baskin J. M., Baskin C. C., 2004
A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research,* 14 : 1-16.

Benmahioul B., Khelil B., Kaïd-Harche M., Daguin F., 2010
Étude de la germination et de l'effet du substrat sur la croissance de jeunes semis de *Pistacia vera* L. *Acta Botanica Malacitana,* 3 : 107-114.

Bhattacharya A., Saha P. K., 1990
Ultrastructure of seed coat and water uptake pattern of seeds during germination in *Cassia* sp. *Seed Science and Technology*, 18 : 97-103.

Bolingue W., Ly Vu B., Leprince O., Buitink J., 2010
Characterization of dormancy behaviour in seeds of the model legume *Medicago truncatula*. *Seed Science Research,* 20 : 97-107.

Botsheleng B., Mathowa T., Mojeremane W., 2014
Effects of pre-treatments methods on the germination of pod mahogany (*Afzelia quanzensis*) and mukusi (*Baikiaea plurijuga*) seeds. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology,* 3 : 8108-8113.

Botumile A., Teketay D., Mojeremane W., Mathowa T., 2020
Overcoming seed dormancy of *Senegalia galpinii* and *Vachellia robusta* through scarification pre-sowing treatments. *The Journal Agriculture and Forestry,* 66 : 153-169.

Bu H., Du G., Chen X., Xu X., Liu K., Wen S., 2008
Community-wide germination strategies in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet plateau: phylogenetic and life-history correlates. *Plant Ecology*, 195 : 87-98.

Dantani A., Mukhtar R., Musa A., Gupa M., Wali B., 2019
Assessment of pre-sowing treatments on germination and early growth of tamarind (*Tamarindus indica* L.) in Kano State Nigeria. *South Asian Journal of Biological Research,* 3 : 18-27.

Dehgan B., Norcini J. G., Kabat S. M., Pérez H. E., 2003
Effect of seed scarification and gibberellic acid treatment on seedling emergence of sky-blue lupine (*Lupinus diffusus*). *Journal of Environmental Horticulture,* 21 : 64-67.

Diabaté M., Munive A., De Faria S. M., Ba A., Dreyfus B., Galiana A., 2005
Occurrence of nodulation in unexplored leguminous trees native to the West African tropical rainforest and inoculation response of native species useful in reforestation. *New Phytologist,* 166 : 231-239.

Du Puy D. J., Labat J. N., Rabevohitra R., Villiers R., Bosser J., Moat J., 2002
The Leguminosae of Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew, 737 p.

Falemara B. C., Nwadike C., Obashola E. O., 2013
« Germination response of baobab seeds (*Adansonia digitata* L.) as influenced by three pre-treatment techniques. Forest industry in a dynamic global environment ». *In* Fan (eds) : *Proceedings of the 35th Annual Conference of Forestry Association of Nigeria, Sokoto* : 44-55.

Falemara B. C., Chomini M. S., Thlama D. M., Udenkwere M., 2014
Pre-germination and dormancy response of *Adansonia digitata* L. seeds to pre-treatment techniques and growth media. *European Journal of Botany Plant Sciences and Pathology,* 2 : 13-23.

Fredrick C., Muthuri C., Ngamau K., Sinclair F., 2017
Provenance and pretreatment effect on seed germination of six provenances of *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev. *Agroforest Syst.*, 91 : 1007-1017.

Kim R. E., Jung H. H., Kim K. S., 2008
Seed germination of *Carex neurocarpa maxim* is promoted by fluctuating temperatures and seed scarification. *Horticulture Environment and Biotechnology,* 49 : 162-167.

Kull C. A., Tassin J., Moreau S., Rakoto Ramiarantsoa H., Blanc-Pamard C., Carrière S. M., 2012
The introduced flora of Madagascar. *Biological Invasions,* 14 : 875-888.

Labouriau L. G., 1983
A germinação das sementes. Organização dos Estados Americanos, Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Secretaria Geral da OEA, Washington, *Serie de Biologia. Monografia*, 24, 164 p.

Likoswe M. G., Njoloma J. P., Mwase W. F., Chilima C. Z., 2008
Effect of seed collection times and pretreatment methods on germination of *Terminalia sericea* Burch. ex D. C. *African Journal of Biotechnology,* 7 : 2840-2846.

Mcdonald I., Omoruyi O., 2003
Effect of seed pre-treatment on germination of two surface types of *Dialium guianeense*. *Seed Technology*, 25 : 41-44.

Mojeremane W., Mathowa T., Teketay D., Stimela T., Kopong I., Rampart M., 2017
Presowing seed treatment methods to overcome dormancy in seeds of *Vachellia rehmanniana* Schinz. *The Journal Agriculture and Forestry*, 63 : 171-181.

Mojeremane W., Makgobota K., Teketay D., Rampart M., Mmolotsi R., Kopong I., Monekwe D., Makoi T., Lepetu J., Neo-Mahupeleng G., Obusitswe K., 2020
Germination studies on seeds of *Burkea africana* and *Erythrophleum africanum* from Kazuma Forest Reserve, Northern Botswana. *African Journal of Biotechnology*, 19 : 675-683.

Moura E. G., Carvalho C. S., Bucher C. P. C., Souza J. L. B., Aguiar A. C. F., Ferraz Junior A. S. L., Bucher C. A., Coelho K. P., 2020
Diversity of Rhizobia and importance of their interactions with legume trees for feasibility and sustainability of the tropical agrosystems. *Diversity,* 12 : 1-16.

Mwase W. F., Mvula T., 2011
Effect of seed size and pre-treatment methods of *Bauhinia thonningii* Schum. on germination and seedling growth. *African Journal of Biotechnology,* 10 : 5143-5148.

Nikoleave M. G., 1977
« Factors controlling seed dormancy pattern », *In* Khan A. A. (ed.) : *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. North Holland Publishing Co., Amsterdam : 51-74.

Odirile O., Mojeremane W., Teketay D., Keotshepile K., 2019
Responses of seeds of *Vachellia erioloba* (E. Mey.) P. J. H. Hurter in Botswana to different pre-sowing treatment methods. *International journal of biology and biotechnology,* 16 : 181-188.

Opoku J. A., Amissah J. N., Essilfie M. E., Norman J. C., 2018
Effect of pre-sowing treatments on seed germination and seedling growth of silver butterfly tree (*Bauhinia rufescens*). *Current Agriculture Research Journal*, 6 : 344-354.

Phartyal S. S., Baskin J. M., Baskin C. C., Thapliyal R. C., 2005
Physical dormancy in seeds of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) from India. *Seed Science Research,* 15 : 59-61.

Rajemiarimiraho M., Banzouzi J.-T., Nicolau-Travers M.-L., Ramos S., Cheikh-Ali Z., Bories C., Rakotonandrasana O., Rakotonandrasana S., Andrianary P., Benoit-Vical F., 2014
Antiprotozoal activities of *Millettia richardiana* (Fabaceae) from Madagascar. *Molecules,* 19 : 4200-4211.

Ranal M. A., Santana D. G. (de), 2006
How and why to measure the germination process? *Revista Brasileira de Botânica,* 29 : 1-11.

Rasebeka L., Mathowa T., Mojeremane W., 2014
Effect of seed pre-sowing treatment on germination of three *Acacia* species indigenous to Botswana. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3 : 62-70.

Sy A., Grouzis M., Danthu P., 2001
Seed germination of seven Sahelian legume species. *Journal of Arid Environments,* 49 : 875-882.

Tadros M. J., Samarah N. H., Alqudah A. M., 2011
Effect of different pre-sowing seed treatments on the germination of *Leucaena leucocephala* (Lam.) and *Acacia farnesiana* (L.). *New Forests,* 42 : 397-407.

Tang A., Haruna A. O., Majid N. M. A., Jalloh M. B., 2020
Potential PGPR properties of cellulolytic, nitrogen-fixing, phosphate-solubilizing bacteria in rehabilitated tropical forest soil. *Microorganisms,* 8 : 1-22.

Teketay D., 1996
Germination ecology of twelve indigenous and eight exotic multipurpose leguminous species from Ethiopia. *Forest Ecology and Management,* 80 : 209-223.

Vange V., Heuch I., Vandvik V., 2004
Do seed mass and family affect germination and juvenile performance in *Knautia arvensis*? A study using failure-time methods. *Acta Oecologica,* 25 : 169-178.

Partie IV

Exercer la gouvernance environnementale

Baobab (*Adansonia digitata*), arbre « sacré » dont les feuilles, fruits et graines sont utilisés dans la médecine traditionnelle, Sénégal.
© IRD/J.-J. Lemasson

Introduction

Olivier Rukundo
Consultant international, France

Thierry Leroy
Cirad, France

Le statut des ressources biologiques a particulièrement évolué dans la dernière décennie du XXe siècle. En effet, après une période où les ressources dans leur ensemble étaient considérées comme un bien commun de l'humanité, leur statut a changé au début des années 1990. La Convention sur la diversité biologique (CDB), adoptée le 22 mai 1992 et entrée en vigueur le 29 décembre 1993, puis le protocole de Nagoya (PN), adopté le 29 octobre 2010 et entré en vigueur le 12 octobre 2014, ont totalement changé la donne sur les ressources biologiques, mais aussi sur les connaissances traditionnelles associées à ces ressources. En particulier, le protocole de Nagoya constitue un accord historique dans la gouvernance internationale de la biodiversité et concerne divers secteurs commerciaux et non commerciaux engagés dans l'utilisation et l'échange des ressources génétiques. Le protocole de Nagoya repose sur les principes fondamentaux de l'accès et du partage des avantages consacrés par la Convention sur la diversité biologique. Ces principes nécessitent l'obtention, par les utilisateurs potentiels de ressources génétiques, du consentement préalable donné en connaissance de cause du pays dans lequel la ressource est située, ainsi que la négociation et l'établissement de conditions convenues d'un commun accord déclinant les conditions d'accès et d'utilisation de cette ressource. Cet accord doit inclure le partage des avantages découlant de l'utilisation de cette ressource entre le fournisseur et l'utilisateur. Inversement, les pays qui fournissent des ressources génétiques et connaissances traditionnelles associées doivent prévoir des règles et procédures d'accès à leurs ressources génétiques justes et non arbitraires.

La CDB et le PN ont ainsi permis que les pays se réattribuent la gestion de leurs ressources biologiques et de leurs connaissances associées. Les pays ont donc la responsabilité, avec l'aide des instruments internationaux et des règlements

régionaux et nationaux, de faire en sorte de maintenir, gérer et maîtriser l'utilisation des ressources et des connaissances traditionnelles associées, souvent gérées par des communautés locales. De nombreux pays ont mis en place, ou sont en train de mettre en place, des mesures législatives et réglementaires sur l'accès et l'usage de leurs ressources biologiques et des connaissances traditionnelles qui y sont associées.

La gouvernance des ressources et des environnements et écosystèmes qui les abritent est donc un enjeu primordial pour de nombreux pays, responsables de la biodiversité de leurs territoires, de leur maintien, de leur gestion, de leurs échanges et de leur utilisation. Cette gouvernance se fait toujours en lien avec les communautés locales qui vivent dans ces écosystèmes variés mais souvent soumis à des pressions importantes, qu'elles soient démographiques, climatiques ou liées à l'évolution des modes de vie des habitants, et à une urbanisation toujours croissante.

La gouvernance environnementale, objet de cette sous-partie, recouvre ainsi de nombreux aspects liés à la gestion des ressources et des connaissances associées dans leur environnement et pour des communautés locales identifiées.

Le premier d'entre eux concerne le maintien des écosystèmes. En effet, tous les écosystèmes, associés à un lieu, à des hommes et à une biodiversité particulière, sont soumis à des pressions importantes. Certains écosystèmes sont très fragiles (zones humides, pression démographique), et des prélèvements importants effectués dans ces écosystèmes, pour le besoin des populations ou pour des projets de recherche et de développement à l'échelle du pays et avec des acteurs divers, peuvent déstabiliser ces zones. On peut y ajouter, bien sûr, les évolutions climatiques qui influent souvent sur ces systèmes métastables. Une bonne gouvernance environnementale est ainsi primordiale pour maintenir les écosystèmes, ce qui se fait toujours avec les habitants de ces zones.

Avec le maintien des écosystèmes, c'est une valorisation durable et respectueuse de l'environnement qui doit faire l'objet d'une gouvernance ciblée. Pour cela, il est important que tous les acteurs du développement et tous les utilisateurs des ressources soient impliqués. Les autorités politiques ont, bien sûr, un rôle prépondérant pour fixer le cadre réglementaire. Les populations locales, qui vivent de ces ressources, sont les mieux placées pour en mesurer l'évolution qualitative et quantitative. Ces populations utilisent en effet ces ressources dans leur environnement depuis de nombreuses générations, grâce à des systèmes traditionnels qui perdurent et qui constituent des facteurs de stabilité. Leurs usages sont nombreux (alimentaire, cosmétique et médicinal). Enfin, les utilisateurs de ces ressources à des fins de recherche et de développement doivent être également associés à cette gestion environnementale, qu'ils soient chercheurs, développeurs ou industriels. Le développement économique pourra permettre, par un retour ciblé vers les populations détentrices des ressources et les autorités nationales du pays concerné, la mise en place d'une gestion durable et respectueuse de ces écosystèmes.

Un autre aspect de la gouvernance environnementale concerne la définition de stratégies à moyen et long termes, avec une approche globale de la diversité des ressources et de leur utilisation. Ces stratégies de long terme peuvent se décliner en trois grandes approches.

– Une approche d'urgence pour les espèces menacées d'extinction, pour lesquelles des mesures fortes de conservation doivent être prises tout en prenant en compte la valeur environnementale des écosystèmes. Cette dernière pourra être appréciée par exemple en termes de carbone ou d'eau. Cette gouvernance d'urgence n'est pas toujours facile à mettre en place si l'environnement est très dégradé, ou si la pression démographique ou climatique est très forte, mais elle est indispensable pour éviter la disparition d'espèces et assurer la pérennité des écosystèmes.

– La deuxième approche, mise en lumière par la pandémie de coronavirus Covid-19, est une approche globale de la santé, appelée « one health ». Cette approche, qui associe la « santé » des plantes, des animaux et des hommes, est intégrative et affirme le rôle primordial de l'environnement animal, végétal et humain dans la gouvernance des écosystèmes anthropisés.

– Enfin, la troisième approche est celle de la formation, l'information et l'éducation des personnes concernées. C'est là un enjeu fondamental pour une gestion durable des écosystèmes et de leur diversité. Les populations locales, les décideurs, les chercheurs, les développeurs et les industriels doivent être associés à la gouvernance environnementale avec une connaissance suffisamment claire des enjeux et des risques, à court, moyen et long termes.

C'est grâce à ces différentes approches et axes d'actions qu'une véritable gouvernance environnementale pourra se mettre en place aux échelles locale, nationale et régionale, afin de garantir des écosystèmes préservés durablement, pour le bénéfice de tous.

Outils stratégiques pour une gestion durable

Chapitre 44

Valorisation de plantes aromatiques et cosmétiques suivant le principe d'accès et de partage des avantages

Bioprospection de la région de l'Ouest au Cameroun

Théophile Fonkou
Université de Dschang, Cameroun

Manuela Kelly Djeuga Youga
Université de Dschang, Cameroun

Hélène Mbuntcha
Université de Dschang, Cameroun

Patrick Sonkoue Njimeli
Université de Dschang, Cameroun

Carine Pamela Kenfack
Université de Dschang, Cameroun

Léa Alida Kenmene
CASuDeV, Cameroun

Léon Tapondjou Azefack
Université de Dschang, Cameroun

Victor François Nguetsop
Université de Dschang, Cameroun

Hilaire Macaire Womeni
Université de Dschang, Cameroun

Marie Louise Avana
Université de Dschang, Cameroun

Caroline Dubourg
Fondation d'entreprise Mane, France

Christine Schippa
Fondation d'entreprise Mane, France

Maghnaoui Najate
Cirad, France

Paule Teres
Cirad, France

Claire Billot
Cirad, France

Cécile Dubois
Cirad, France

Geo Coppens D'eeckenbrugge
Cirad, France

Introduction

Les végétaux jouent un rôle important pour la survie de l'humanité par leur capacité à synthétiser un grand nombre de molécules organiques complexes quelquefois pourvues d'activités biologiques. Les échanges commerciaux entre pays ont donné lieu à une large et peu contrôlée utilisation de la biodiversité (Kpètèhoto *et al.*, 2017). Certains acteurs s'approprient ainsi illégalement non seulement des ressources biologiques mais également les connaissances traditionnelles des peuples autochtones qui y sont associées (Greiber *et al.*, 2014). Dans les pays pauvres, certaines entreprises exploitent ces ressources sans se soucier de leur gestion durable, ni de leur conservation, entraînant la disparition des espèces ainsi qu'une régression et une destruction alarmante des écosystèmes (Davo, 2011). Aux yeux de l'opinion internationale, la préservation de cette biodiversité et l'utilisation durable et rationnelle des ressources naturelles sont devenues des obligations sans lesquelles un développement durable ne peut être assuré (FAO, 1995 ; Gbesso *et al.*, 2017).

La Convention sur la diversité biologique (CBD), adoptée en 1992 au Sommet de la Terre de Rio, est un traité international légalement contraignant qui reconnaît aux États un droit souverain sur leurs ressources biologiques et réaffirme leur responsabilité en matière de conservation et d'utilisation durable de ces ressources. Les pays signataires sont tenus de mettre en place des programmes d'action visant à préserver la diversité biologique et, à fortiori, les ressources génétiques. Le 29 octobre 2010, le protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation (APA) relatif à la Convention sur la diversité biologique a été adopté à Nagoya, au Japon. Selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), l'accès et le partage des avantages (APA) est un processus concret de valorisation de la biodiversité et des services fournis par les écosystèmes, mais également un bon moyen de favoriser la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles (Roué *et al.*, 2017).

Depuis 1992, nombre de pays africains ont pris conscience de l'enjeu capital que représentent la conservation des ressources génétiques et leur gestion durable.

Le Cameroun dispose de l'une des plus grandes diversités biologiques dans le bassin du Congo, notamment avec des plantes aromatiques et médicinales, parfois introduites mais surtout endémiques, et sources d'huiles essentielles (Tacham *et al.*, 2018). Cependant, ces ressources génétiques et leurs écosystèmes subissent une dégradation alarmante, en partie due à une exploitation permanente par les populations et les industries, et à un manque d'éducation à l'environnement des différents acteurs. Malgré cette richesse naturelle qui pourrait constituer un capital économique important, du fait de la forte demande mondiale enregistrée depuis quelques années, le pays peine encore à mettre sur pied une chaîne de valeurs de ces produits dans le cadre de l'APA. Les engagements du Cameroun envers le protocole de Nagoya sont, en effet, en cours de mise en place légale par son gouvernement : la législation n'est pas encore adoptée. Depuis 2012,

le projet pilote de valorisation de la plante *Echinops giganteus* dans les Monts Bambouto, soutenu par la Fondation d'Entreprise Mane, aide le gouvernement camerounais à avancer à cette fin, dans une démarche pragmatique.

Echinops giganteus n'étant pas l'unique espèce valorisable du territoire, il est important de rechercher d'autres espèces potentiellement valorisables suivant le principe de l'APA. Les enquêtes ethnobotaniques représentent une approche pertinente pour découvrir de nouveaux composés susceptibles d'être valorisés dans ce cadre (Gurib-Fakim, 2006 ; Koné, 2009), les vertus des plantes et leurs usages faisant l'objet de connaissances très anciennes et se transmettant de génération en génération.

Dans ce contexte, l'objectif global de cette étude était de contribuer à la promotion de chaînes de valeurs de certaines espèces végétales d'intérêt pour les industries aromatiques et cosmétiques dans le cadre de la mise en place du protocole de Nagoya et du processus de l'APA au Cameroun. Plus précisément, il s'agissait de déterminer la diversité des plantes aromatiques et cosmétiques de la zone agroécologique des Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun, de collecter les savoirs traditionnels associés à ces espèces, d'extraire et de caractériser leurs huiles essentielles par des analyses sensorielles et physicochimiques, de caractériser l'espace écoclimatique des espèces ciblées et d'évaluer leur abondance, d'évaluer les possibilités agronomiques et d'afforestation sur la reproduction *ex* et *in situ* de ces espèces, et, enfin, de sensibiliser les populations locales au processus de l'APA.

Matériels et méthodes

Zone d'étude

Les travaux se sont déroulés dans la zone agroécologique des Hautes Terres de la région Ouest du Cameroun, s'étendant sur 300 km du nord au sud (entre les parallèles 4°30 et 7°N) et sur 250 km d'est en ouest (entre les méridiens 9°25 et 11°40 E).

Ethnobotanique et collecte des savoirs traditionnels associés

À partir d'une enquête exploratoire effectuée en collaboration avec le réseau des tradipraticiens et d'une revue bibliographique, des sites d'étude ont été sélectionnés sur la base des critères tels que la bonne connaissance/utilisation des plantes en parfumerie ou en cosmétologie de façon traditionnelle par les populations, la disponibilité de ces plantes et l'accessibilité aux sites de collecte. Au niveau de chaque zone présélectionnée, des groupes de travail ont été organisés avec les acteurs locaux dont les tradipraticiens, les chefs de village et les vieillards, afin de collecter les savoirs généraux et de cibler

des interlocuteurs pour la collecte des données ethnobotaniques (descriptives, causales et diagnostiques). Les techniques d'échantillonnage aléatoire simple et aléatoire stratifié ont été combinées. Des informations ont été collectées sur les noms vernaculaires, les parties utilisées et les usages de chaque espèce, les préférences des consommateurs pour les différentes espèces, les caractéristiques conférant ces préférences, les activités de la population locale en rapport avec la gestion de ces plantes, l'importance des plantes citées dans l'alimentation, la santé et la vie socioculturelle, les espèces vendues, la valeur économique, les périodes d'approvisionnement ainsi que les préférences d'achat ou de vente (fig. 1). Des séances de travail avec les tradipraticiens ont ensuite permis d'avoir d'autres renseignements sur les différents usages des plantes citées.

Des spécimens des différentes plantes citées par les personnes ressources ont été récoltés et identifiés à l'herbier national du Cameroun.

Figure 1
Séances de travail avec les tradipraticiens et récolte des spécimens sur le terrain.
© T. Fonkou

Classement des espèces citées

Une matrice de classement des espèces citées a été conçue avec des critères biologiques (parties prélevées, distribution, accessibilité, abondance, taux d'endémicité), agronomiques (cycles de reproduction, modes de reproduction, potentiel de régénération naturelle) et économiques (prix sur le marché, rendement par hectare). Cette matrice a permis d'établir une liste de 34 espèces potentiellement exploitables dans le cadre du projet.

Extraction et caractérisation des huiles essentielles

Pour les 34 espèces, l'extraction d'huiles essentielles a été réalisée par hydrodistillation simple ou assistée par ultrasons. La composition chimique des huiles a été identifiée par chromatographie en phase gazeuse à ionisation de

flamme couplée à de la spectrométrie de masse (CPG/DIF/SM). Les indices de rétention polaire et apolaire ainsi que les spectres de masse ont été comparés aux bases de données du laboratoire de la Fondation d'entreprise Mane, de la bibliothèque commerciale de la National Institute of Standarts and Technology (NIST) ou répertoriés dans la littérature.

L'évaluation olfactive des huiles essentielles obtenues a été faite par les parfumeurs de la Fondation d'Entreprise Mane. Sur la base de cette évaluation, cinq espèces ont été retenues : *Aframomun chlamydanthum, Eryngium foetidum, Cyperus rotundus, Emilia paetermissa* et *Brillantaisia* spp.

Caractérisation des habitats et modélisation des niches écologiques

Les cinq espèces choisies ont été caractérisées dans leurs habitats grâce aux critères de vulnérabilité de l'UICN notamment le potentiel de l'espèce sur pied, les formes de vie, et les parties prélevées. D'autres paramètres de vulnérabilité, tels que la méthode de prélèvement, l'organe végétatif prélevé par les populations riveraines, la popularité des espèces et la densité, ont été considérés (Betti, 2001 ; 2002 ; Kamga, 2014 ; Hill *et al.*, 2019). Une évaluation de la régénération naturelle et de la phénologie des espèces dans les différents habitats a été faite.

L'espace écoclimatique de chaque espèce a été caractérisé. Les données des récoltes géoréférencées couplées aux données disponibles dans le Global Biodiversity Information Facility (GBIF) ont permis de cartographier la distribution de ces espèces. Leurs niches écologiques ont ensuite été modélisées en combinant avec les données WordClim (logiciels DivaGIS et Maxent).

Évaluation du potentiel de domestication des espèces ciblées

Les différentes contraintes liées à la domestication par les populations locales (régénération, conservation et sélection) des cinq espèces priorisées par les parfumeurs ont été relevées. Les potentiels de régénération naturelle de ces espèces ont été évalués par l'identification, la description et la caractérisation physiologique de leurs diaspores.

La détermination des conditions optimales de germination a été réalisée en évaluant l'influence de différents traitements, incluant l'effet du substrat, de la teneur en eau et de différentes conditions de conservation. Le temps de latence, le pourcentage de germination, le temps moyen de germination et la durée totale de germination ont été relevés pour chaque traitement. Des enquêtes dans les villages proches des habitats naturels de ces espèces ont permis d'évaluer les initiatives locales de domestication, les types de propagule utilisés, leur disponibilité, le comportement des espèces dans les systèmes de production gérés par les paysans, les contraintes et les atouts des populations pour la domestication de l'espèce. L'état des peuplements en plantation a été évalué pour chaque espèce, afin d'apprécier la performance des vergers. En fonction des contraintes de

domestication identifiées, l'aptitude des espèces à la multiplication générative et végétative a été évaluée.

La multiplication générative a été estimée, d'une part, de manière participative avec les communautés par des tests de germination *in situ* et, d'autre part, grâce à des tests de germination en condition semi-contrôlées suivant les recommandations de l'International Seed Testing Association (Milivojević *et al*., 2018). Ces tests ont permis d'identifier les conditions optimales pour la régénération des espèces en milieu paysan et en serre.

Résultats

Données ethnobotaniques et socio-économiques

L'enquête a été effectuée auprès de 251 personnes dont 206 hommes et 45 femmes, dont l'âge varie entre 25 et 81 ans. Cent-trois espèces réparties dans 81 genres et 46 familles ont été recensées, les plus représentées étant des Lamiaceae (dix-huit espèces), des Asteraceae et Zingiberaceae (sept espèces chacune). Au total, 66 % des espèces sont des herbacées, les feuilles étant les organes les plus utilisés. Les plantes aromatiques recensées sont utilisées à des fins alimentaires, médicinales ou cosmétiques. Les analyses indiquent dix espèces fréquemment utilisées par les populations des Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun. Au total, 34 espèces ont été retenues et ont fait l'objet d'un classement par ordre de priorité suivant des critères biologiques, agronomiques, et morphologiques (tabl. 1).

Rendement en huiles essentielles des espèces sélectionnées

Le tableau 2 présente les parties prélevées des différentes plantes, les rendements d'extraction des huiles essentielles ainsi que leurs composés majoritaires.

Les huiles essentielles provenant de cinq espèces (PA5, PA12, PA20, et PA25 et PA37) ont intéressé les parfumeurs.

Caractéristiques des habitats et niches écologiques

Aframomun chlamydanthum (PA5) est une plante herbacée appartenant à la famille des Zingiberaceae. Les investigations dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun ont permis de la localiser dans deux départements, le Noun et le Haut-Nkam. Selon les enquêtes et les observations, cette espèce est rare et s'y trouve à l'état sauvage. Elle préfère les milieux ombragés avec une faible luminosité, des sols frais et riches en humus. On la retrouve sous des couverts végétaux faiblement éclairés et près des cours d'eau.

Tableau 1
Espèces retenues suivant des critères agronomiques, écologiques et biologiques pour la recherche d'huiles essentielles

N°	Espèces	Parties prélevées	Abondance	Densité (pieds/ha)	Accessibilité
PA1	*Helichrysum camerounensis*	Feuilles	Moyenne	112	Facile
PA2	*Plectranthus* spp.	Feuilles	Forte	812	Difficile
PA3	*Satureja robusta*	Feuilles	Forte	1 050	Facile
PA4	*Helichrysum foetidum*	Feuilles	Forte	1 000	Très facile
PA5	*Aframomun chlamydanthum*	Plante entière	Forte	1 800	Très facile
PA6	*Aframomum danielli*	Plante entière	Forte	1	Très facile
PA7	*Pentadiplandra brazeana*	Racines, fruits	Forte	51	Très facile
PA8	Non identifiée	Tige, feuilles	Moyenne	20 000	Facile
PA9	Non identifiée	Faible	Faible		Facile
PA10	Non identifiée	Feuilles	Forte	10	Moyenne
PA11	*Caucalis melanantha*	Plante entière	Forte	1 600	Très facile
PA12	*Eryngium foetidum*	Plante entière	Forte	/	Moyenne
PA13	*Lippia rugosa*	Feuilles	Moyenne		Facile
PA17	*Premna zenkeri*	Écorce, feuilles	Faible	5	Très facile
PA18	*Olax subscorpioidea*	Écorce	Forte	521	Très facile
PA20	*Cyperus rotundus*	Racines	Faible	1	Difficile (domestiquée)
PA21	*Aframomum melegueta*	Plante entière	Faible	1	Difficile
PA22	*Chenopodium ambrosioides*	Partie aérienne	Forte	4	Facile
PA23	Non identifiée	Feuilles	Faible	1	Facile
PA24	*Ocimum gratissimum*	Feuilles	Faible	/	Moyenne
PA25	*Emilia paetermissa*	Plante entière	Faible	3	Facile
PA26	*Eucalyptus* sp.	Feuilles	Moyenne	/	Facile
PA27	*Vernonia tufnelliae*	Tiges, feuilles	Moyenne	10 000	Facile
PA28	Non identifiée	Feuilles	Moyenne	10 000	Facile
PA29	*Helichrysum antunesi* var. latifolium	Feuilles	Moyenne	3	Facile
PA30	*Vernonia nestor*	Feuilles	Moyenne	30 000	Facile
PA31	*Piper umbellata*	Graines, feuilles	Moyenne	60 000	Facile
PA32	Non identifiée	Feuilles	Faible	10 000	Moyenne
PA33	Non identifiée	Tiges, feuilles		/	
PA34	*Hypodafnus* sp.	Écorce, feuilles	Faible	10 000	Difficile
PA35	Non identifiée	Écorce, feuilles	Faible	10 000	Difficile
PA36	*Aframomum* spp.	Plante entière	Forte	10	Moyenne
PA37	*Brillantaisia* spp.	Partie aérienne	Forte	15	Moyenne
PA38	*Largera* spp.	Partie aérienne	Forte	7	Facile

Tableau 2
Rendement d'extraction et composés majoritaires des huiles essentielles des plantes collectées.

Plantes	Parties utilisées	Rendement d'extraction	Composés majoritaires
PA2	Feuilles	0,35 %	Oxyde pipéritenone 23,65 %, oxyde pipéritone 2/2 (16,15 %), oxyde pipéritone 1/2 (7,24 %)
PA3	Feuilles	0,30 %	Oxyde pipéritone (28,3 %), pipéritone (15,14 %), germacrène D (9,42 %)
	Partie aérienne	0,41 %	Oxyde pipéritone (45,6 %), pipéritone (11,55 %), germacrène D (3,94 %)
PA5	Feuilles	0,47 %	β-pinène (49,72 %), caryophyllene (10,62 %), -αpinène (6,21 %)
PA6	Feuilles	0,81 %	Sabinène (42,87 %), β-pinène, (11,22 %), caryophyllene (7,84 %), terpinène-4-ol (5,68 %)
PA10	Feuilles	0,10 %	α-cadinol (6,86 %), (E)-nérolidol (5,81 %) limonène (5,28 %), -αpinène (4,93 %), β-pinène (3,17 %)
PA11	Partie aérienne	0,50 %	α-pinène (24,4 %), sabinène (23,28 %), limonène (14,1 %)
PA12	Plante entière	0,06 %	(2E)-dodécenal (42,88 %), l'un des isomères du mésitaldehyde (14,68 %), aldéhyde laurique (6,20 %) et (2E)-tétradécénal (4,90 %)
PA13	Feuilles	0,41 %	Germacrène D (25,24 %), élémol (9,73 %), caryophyllene (9 %), (6E) β-farnésène (7,80 %), Limonène (6,02 %), (E)-nérolidol (5,82 %)
PA18	Écorce	0,12 %	P-cymène (13,55 %), germacrène D (11,66 %), limonène (4,85 %), α-phellandrène (4,36 %), caryophyllene (3,14 %)
PA20	Racines	0,37 %	Mustakone (15,71 %), trans- pinocarvéol (5,59 %), cyperotundone (4,13 %), α-pinène (3,97 %), β-pinène (3,92 %)
PA21	Feuilles	0,36 %	β-pinène (37,15 %), caryophyllene (17,64 %), oxyde caryophyllene (8,72 %) et α-pinène (8,26 %)
PA22	Partie aérienne	0,95 %	α-terpinène (37,16 %), para-cymène (13,55 %) et isoascaridole (4,98 %)
PA23	Feuilles	0,15 %	Sabinène (32,66 %), linalol (3,23 %), oxyde caryophyllene (2,46 %), p-cymène (2,41 %)
PA24	Feuilles	0,42 %	Élémicine (33,42 %), eugénol (30,13 %), (Z)-ocimène (10,33 %), β-bisabolène (5,58 %)
PA25	Partie aérienne	0,04 %	α-pinène (14,46 %), limonène (12,57 %), myrcène (11,11 %), sabinène (6,70 %), oxyde α-humulène (5,65 %), caryophyllene (5,49 %), β-élémène (4,25 %)
PA26	Feuilles	0,93 %	α-pinène (45,48 %), eucalyptol (8,47 %), beta phellandrène (7,02 %), α-terpinéol (5,58 %), trans-pinocarvéol (4,64 %)
PA29	Partie aérienne	0,06 %	Oxyde caryophyllene (22,89 %), α-pinène (10,81 %), isocaryophyllene-5,6-époxyde (5,32 %)
PA33	Feuilles	0,12 %	(E) β-pinène (9,63 %), germacrène D (8,38 %), α-cadinol (6,33 %), γ-cadinène (4,37 %), δ-cadinène (4 %), nérolidol (3,60 %)

Plantes	Parties utilisées	Rendement d'extraction	Composés majoritaires
PA36	Feuilles	0,38 %	β-pinène (27,37 %), oxyde caryophyllene (25,11 %), caryophyllene (20,27 %), α-pinène (4,05 %)
PA37	Feuilles	0,55 %	β-pinène (11,99 %), fenchol (19,24 %), eucalyptol (6,48 %), α-pinène (4,94 %), curzérénone (4,20 %), oxyde caryophyllene (3,91 %)
PA38	Partie aérienne	0,08 %	Sabinène (10,59 %), caryophyllene (11,57 %), limonène (6,65 %), oxyde caryophyllene (6,45 %), Thymohydroquinone dimethyl ether (3,62 %)

Eryngium foetidum (PA12) est une herbacé vivace de la famille des Apiaceae. Capable de s'adapter à plusieurs types d'environnement, elle préfère cependant des milieux humides mi-ombragés. Les températures et précipitations qui lui sont favorables sont respectivement comprises entre 16 et 27 °C et entre 1 000 et 4 500 mm/an. Dans les Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun, on la rencontre en bordure des routes et des pistes, dans les champs cultivés, les jachères et aux alentours des maisons. On la rencontre également sur les pentes et les terrains plats. Dans son environnement naturel, elle est le plus souvent associée à *Dissotis princeps*. Elle n'est pas cultivée et peut être envahissante lorsque les conditions lui sont favorables. Les enquêtes et les observations sur le terrain rapportent que son principal prédateur est l'homme. Le modèle établi lui prédit une niche écologique très favorable dans trois zones agroécologiques du Cameroun : les Hautes Terres de l'Ouest, les forêts denses humides à pluviométrie monomodale et les forêts humides à pluviométrie bimodale.

Cyperus rotundus (PA20) est une herbacée de la famille des Cyperaceae. Dans les Hautes Terres, il est difficile de la trouver à l'état sauvage. Elle est plantée aux alentours des maisons, dans les champs et les jardins médicinaux. Elle est le plus souvent associée à *Cymbopogon citratus* et à *Ageratum conyzoides*. Observée entre 900 et 1 500 m d'altitude, elle croît aussi bien en milieu ombragé qu'en milieu ensoleillé, et a pour seul prédateur l'homme. Ce dernier l'utilise comme plante médicinale.

Emilia cf. *paetermissa* (PA25) est une plante herbacée de la famille des Asteraceae. Les différentes observations sur le terrain laissent à penser qu'elle serait une espèce de montagne, dont l'altitude varie entre 1 400 et 1 700 m. Elle aime les milieux ouverts. Elle a été observée dans les savanes herbeuses à *Kotschya strigosa* et à *Imperata cylindrica*, dans les champs cultivés et les jachères. Elle est généralement associée à *Aspilia africana* et à *Dryopteris felix-max*. Il a été noté sur les feuilles des taches de nécroses liées à une attaque fongique. Ses feuilles sont également consommées par les insectes, particulièrement par *Lagria villosa*.

Enfin, *Brillantaisia* spp. (PA37, nom d'espèce non identifié) est une herbacée de la famille des Acanthaceae. Dans les Hautes Terres de l'Ouest du Cameroun, on la retrouve à l'état cultivé et sauvage. C'est une plante qui préfère les milieux

partiellement couverts et les substrats humides. Ses feuilles sont dévorées par les chenilles, les limaces et les criquets.

Régénération des espèces sélectionnées

Les essais de régénération *ex situ* des plantes PA5, PA12 et PA20 ont été faits respectivement avec les rhizomes et les graines, les graines et les tubercules (fig. 2). Les rhizomes de PA12 germent la sixième semaine après semis avec un pourcentage de réussite de 12 %, alors que les tubercules de PA20 germent dès la première semaine avec un pourcentage de germination de 95,24 %. Les amendements apportés aux substrats ont significativement influencé la croissance et la production de biomasse de PA5 et PA20. Les essais de germination de PA12 avec trois traitements (trempage des graines pendant 24 h dans de l'eau non bouillie, graines bouillies pendant 5, 10 et 30 mn) ont montré quatre semaines après le semis les résultats suivants : aucune germination des graines bouillies, 75 % de germination des graines trempées et 25 % pour les graines témoins.

Figure 2
Plantules des espèces PA5 et PA12 obtenues à partir de graines ou de tubercules.
© T. Fonkou

Partage des connaissances avec les populations

Des visites de reconnaissance et de sensibilisation à l'APA ont été effectuées dans les sept localités où les espèces retenues avaient été rencontrées. Il s'agit des localités de Tonga et Bassamba dans le Ndé, de Bafang et Bandja dans le Haut Nkam, et de Massangam, Malantouen et Kouoptamo dans le Noun. Les responsables des services locaux, notamment les chefs traditionnels, les tradipraticiens, les maires, les secrétaires particuliers de certains sous-préfets et quelques membres des différentes communautés, ont été rencontrés dans l'optique de d'expliquer les bien-fondés de la sensibilisation à l'APA. À l'exception de *Cyperus rotundus* (PA20) inconnue des populations de la localité de Batack (car ne faisant pas l'objet d'un usage quelconque), toutes les autres

espèces ciblées sont utilisées par les populations pour des usages médicinaux et culinaires. Malgré le doute qu'ont certaines autorités de percevoir réellement des bénéfices, la majorité de nos interlocuteurs s'est montrée disponible à poursuivre le projet, dont les prochaines étapes sont des ateliers plus larges de sensibilisation à l'approche APA. Certaines communautés, à l'instar de celles de Malantouen et de Kouoptamo, ont apprécié l'initiative et sont prêtes à offrir leur terre pour la multiplication des espèces.

Conclusion

L'objectif du projet était de contribuer à la mise en place de chaînes de valeurs d'espèces végétales d'intérêt pour l'industrie de la parfumerie ou du cosmétique, en respectant la législation camerounaise relative au protocole de Nagoya, qui est actuellement dans sa phase de mise en place. Le projet a été réalisé par un réseau de quatre partenaires, dont la Fondation d'Entreprise Mane, l'Université de Dschang, l'Association camerounaise pour le développement durable (CASuDev) et l'Organisation du secteur de la médecine traditionnelle de l'Ouest-Cameroun (Osemeto). Grâce à des enquêtes ethnobotaniques auprès de tradipraticiens, des plantes utilisées par les populations de l'Ouest-Cameroun pour leurs arômes, ou à des fins cosmétiques, ont été identifiées et des connaissances traditionnelles sur leurs utilisations recueillies. Trois-cent-cinquante spécimens de plantes citées par les populations locales ont été collectés dans seize localités et identifiés. De ces spécimens, 80 espèces aromatiques et 23 espèces à usages cosmétiques ont été répertoriées et leurs potentiels de production d'huiles essentielles évalués. Les huiles obtenues ont été analysées, afin de prioriser les espèces d'intérêt pour l'industrie. Sur un total de 34 espèces productrices d'huiles essentielles, les analyses sensorielles et physicochimiques ont permis d'identifier 21 plantes intéressantes parmi lesquelles cinq ont été retenues par les parfumeurs. Les potentiels de régénération naturelle et en pépinière de ces cinq espèces ont été évalués, afin d'envisager leur domestication dans un contexte d'accès et de partage des avantages. Après la caractérisation physiologique et biochimique de leurs semences, les conditions optimales de multiplication générative et végétative ont été identifiées.

Les caractéristiques biotiques et abiotiques des aires de distribution de ces espèces ont été relevées pour la modélisation des niches écologiques. Des modèles de prédiction actuelle et future de leurs répartitions spatiales ont été construits à partir des données d'herbier sur les occurrences et la géolocalisation. La vulgarisation et l'exploitation des résultats faciliteront les demandes d'accès et la signature des contrats APA entre la Fondation d'Entreprise Mane et les populations concernées. Les chaînes de valeurs ainsi mises en œuvre amélioreront durablement les conditions de vie de ces populations et la gestion des écosystèmes concernés.

Références bibliographiques

Betti J. L., 2001
Usages traditionnels et vulnérabilités des plantes médicinales dans la réserve de Dja et dans le marché de Yaoundé, Cameroun. Thèse de doctorat, université libre de Bruxelles, 229 p.

Betti J. L., 2002
Medicinal plants sold in Yaounde markets, Cameroon. *African Study Monographs*, 23 (3) : 47-64.

Davo E., 2011
Contribution à l'évaluation de la biodiversité des espèces de faunes aviennes des collines. Mémoire de maîtrise, université d'Abomey-Calavi, Bénin, 85 p.

FAO (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture), 1995
Non-wood forest products for rural income and sustainable forestry. Report, FAO, Rome, Italie, 118 p.

Gbesso G. H. F., Logbo J., Lougbégnon O. T., Codjia J. T. C., 2017
Biodiversité et valeurs d'usage des plantes utilisées comme arômes traditionnels par les populations du plateau d'Allada au Sud Bénin. *Revue Cames-Série Pharm. Méd. trad. afr*., 18 (2) : 1-12.

Greiber T., Moreno S. P., Åhrén M., Carrasco J. N., Kamau E. C., Medaglia J. C., Oliva M. J., Perron-Welch F., Ali N., China W., 2014
Guide explicatif du protocole de Nagoya sur l'accès et le partage des avantages. UICN, Gland, Suisse, 406 p.

Gurib-Fakim A., 2006
Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Molecular Aspects of Medicine,* 27 : 1-93.

Hill R. C, Adem C., Alangui W. V., Molnar Z., Yildiz A-T., Bridgewater P., Tengo M., Thaman R., Adou Yao C. Y, Berkes F., Carino J., Carneiro da Cunha M., Mariteuw C. D., Diaz S., Figueroa V. E., Fisher J., Hardison P., Ichikawa K., Kariuki P., Karki M., Lyver P. O., Malmer P., Masardule O., Oteng Yeboah A. A., Pacheco D., Pataridze T., Perez E., Roue M.-M., Roba H., Rubis J., Saito O., Xue D., 2019
Working with indigenous, local and scientific knowledge in assessments of nature and nature's linkages with people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 43 : 8-20.

Kamga Y.B., 2014
Diversité et gestion des peuplements de Gnidia glauca *dans la région du mont Oku (Nord-Ouest-Cameroun)*. Mémoire de master, université de Dschang, Cameroun, 104 p.

Koné D., 2009
Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes : extraction, identification d'alcaloïdes caractérisation, quantification de polyphénols. Étude de leur activité antioxydante. Thèse en cotutelle avec l'université Paul-Verlaine de Metz, France, et l'université du Mali, 188 p.

Kpètèhoto W., Hessou H. S., Dougnon V. T., Johnson R. C., Boni G., Enock Houéto E., Assogba F., Pognon E., Loko F., Boko M., Gbénou J., 2017
Étude ethnobotanique, phytochimique et écotoxicologique de *Ocimum gratissimum* Linn (Lamiaceae) à Cotonou. *Journal of Applied Biosciences*, 109 : 10609-10617.

Milivojević M., Ripka Z., Petrović T, 2018
ISTA rules changes in seed germination testing at the beginning of the 21st century. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 22 (1) : 40-45.

Roué M., Césard N., Adou Yao Y. C., Oteng-Yeboah A. (eds), 2017
Knowing our lands and resources: indigenous and local knowledge of biodiversity and ecosystem services in Africa. *Knowledges of Nature*, 8. Unesco, Paris, 156 p.

Tacham W. N., Djeuga Y. M. K., Woukoue T. J. B, Akitio T. H. M., Noukagheu N. R., Fonkou T., 2018
Synthèse bibliographique sur les plantes aromatiques et des plantes à usage cosmétique au Cameroun et inventaire ethnobotanique dans les régions de l'Ouest et du Sud-Ouest. Rapport final de projet, université de Dschang, Cameroun, 81 p.

Chapitre 45

Palmiers (Arecaceae) de Madagascar

Élaboration d'une stratégie de conservation et d'utilisation durable

Mijoro Rakotoarinivo
Université d'Antananarivo, Madagascar

John Dransfield
Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni

Henk Beentje
Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni

Verohanitra M. Rafidison
Université d'Antananarivo, Madagascar

Robert D. Turk
SAF-FJKM, Madagascar

Thomas Couvreur
IRD, Équateur

Solo H. Rapanarivo
Parc botanique et zoologique de Tsimbazaza, Madagascar

Sylvie Andriambololonera
Missouri Botanical Garden, Madagascar

William J. Baker
Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni

Introduction

Les territoires les plus riches en biodiversité correspondent souvent à ceux dont le risque d'extinction des espèces est élevé (Mittermeier *et al*., 2005). Madagascar en constitue un exemple concret ; l'île a perdu la majorité de sa diversité biologique depuis l'arrivée de l'homme (Hanski *et al*. ; 2007 ; Godfrey *et al*., 2019), il y a environ 9 000 ans (Douglass *et al.* 2019). Ces activités anthropiques ont engendré divers problèmes environnementaux, tels que les pollutions et l'accentuation des effets du changement climatique dans de nombreuses régions de l'île (Herrera, 2017). Classée parmi les *hotspots* de la biodiversité mondiale, l'île bénéficie d'une priorité mondiale en matière de conservation de la nature (Goodman et Benstead, 2005). En effet, la perte massive de sa flore impacterait la diversité biologique globale. La singularité de sa flore se traduit par un taux d'endémisme élevé, au niveau spécifique ou au niveau des taxons de rangs supérieurs (Callmander *et al*., 2011). Par exemple, l'île compte actuellement deux-cent-huit espèces autochtones de palmiers ou Arecaceae (Govaerts *et al*., 2020), dont 98 % sont endémiques. En termes de

diversité spécifique, Madagascar présente trois fois plus d'espèces de palmiers que l'ensemble du continent africain (Cosiaux *et al*., 2018). Madagascar figure ainsi parmi les territoires les plus riches en palmiers dans le monde.

Les palmiers sont essentiels à la survie et à la subsistance des populations autochtones à Madagascar. De nombreuses espèces sont à usages multiples, exploitées par les populations locales comme une source de nourriture et de matériels de construction ou d'outils (Dransfield et Beentje, 1995). Malheureusement, ces formes d'exploitation, couplées à d'autres types de pressions d'origine anthropique, directes ou indirectes, ont accéléré la disparition de nombreuses espèces de palmiers depuis quelques décennies. La dernière évaluation du risque d'extinction des palmiers de Madagascar, selon les critères de la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), a révélé que 83 % des espèces pourraient disparaître si aucune mesure d'accompagnement n'est élaborée pour leur survie en milieu naturel (Rakotoarinivo *et al*., 2014). Ce taux d'extinction est particulièrement élevé si on le compare à celui des plantes vasculaires malgaches, estimé à 27 % (UICN, 2020), et à celui des palmiers sur l'ensemble du continent africain (taux de 10 %) (Cosiaux *et al*., 2018). La conservation des palmiers de Madagascar constitue un véritable défi en lien étroit avec le maintien de la diversité biologique et le développement durable. Face aux changements environnementaux, à la destruction des habitats et à l'extinction des espèces, il est indispensable de planifier la sauvegarde des espèces avec l'élaboration d'une stratégie de conservation (UICN/SSC, 2008). Informer sur les menaces qui pèsent sur les espèces n'est pas suffisant pour garantir des impacts positifs en matière de conservation. La sauvegarde des espèces doit en effet être accompagnée d'actions prioritaires spécialement conçues pour les acteurs clés (UICN/SSC, 2008).

Le projet AAP3-21 du programmes « Sud Expert Plantes Développement Durable » (SEP2D) a pour but de mettre en place un cadre national concernant les actions prioritaires à mener sur les palmiers de Madagascar, en se basant sur les objectifs et les priorités nationales en matière de gestion de la biodiversité à Madagascar (Rabarison *et al*., 2016). L'objectif global du projet consiste ainsi à élaborer un document-cadre pour la stratégie de conservation et d'utilisation durable des palmiers de Madagascar afin, d'une part, d'attirer l'attention du public sur les priorités de conservation et, d'autre part, d'inciter la mise en œuvre des actions nécessaires. Plus spécifiquement, cette recherche ambitionne de fournir des informations utiles pour la conservation des palmiers de Madagascar (description de la diversité et distribution spatiale des espèces), d'évaluer les valeurs utilitaires des espèces exploitées par l'homme et ainsi réduire le risque d'extinction des espèces.

La stratégie de conservation élaborée lors de cette recherche repose sur le fait qu'une information scientifique interdisciplinaire solide est nécessaire pour étayer les décisions et les politiques de conservation relatives à la diversité des palmiers. Une telle approche permet de garantir que les actions de conservation initiées soient les plus appropriées.

Matériels et méthodes

Les données biologiques sur les palmiers de Madagascar ont été obtenues à partir d'une base de données comprenant environ 3 750 enregistrements de palmiers. Les informations pour chaque enregistrement proviennent (1) des étiquettes descriptives conservées principalement dans les herbiers du Royal Botanic Gardens Kew (K), de Missouri Botanical Garden (MO), du Muséum national d'histoire naturelle de Paris (P), et du parc botanique et zoologique de Tsimbazaza (TAN), (2) de la littérature scientifique et (3) de flores électroniques comme celles du Global Biodiversity Information Facility (GBIF, https://www.gbif.org/fr/) et de iNaturalist (https://www.inaturalist.org/). Afin de compléter les données existantes sur le mode de distribution des palmiers et leurs utilisations au niveau local, trois missions de terrain ont eu lieu en 2018, à Manompana, Soanierana Ivongo (nord-est de Madagascar, février), à Ifanadiana, (sud-est, mai et novembre) et entre Ambositra et Mandoto sur les Hautes Terres (septembre) (fig. 1).

Figure 1
Mode de distribution des palmiers de Madagascar.

Afin de compléter les informations issues de la littérature sur les modes d'utilisations traditionnelles des palmiers, des enquêtes ethnobotaniques ont été effectuées auprès des communautés locales lors des travaux de terrain. Des interviews semi-directifs (Debourdeau, 2008) ont été menées auprès de groupes de personnes ou individuellement. Ces enquêtes ont porté sur l'usage des palmiers dans la vie quotidienne, le mode de collecte, les produits transformés et le prix des produits finis en cas de commercialisation.

Les données sur les types de menaces et de pressions sur chaque espèce ont été acquises par observation directe des palmiers, dans leur milieu naturel, ou extraites de données issues d'évaluations selon les critères de la liste rouge de l'UICN (2020).

Le document stratégique élaboré dans le cadre de ce projet compile les données biologiques et écologiques pour les différentes espèces ; ces informations ont ainsi permis de proposer les actions prioritaires à mener pour préserver les palmiers. Ces actions prioritaires ont ensuite été formulées en objectifs de conservation selon les recommandations de la stratégie nationale de la biodiversité à Madagascar (Rabarison *et al.,* 2016).

Résultats

État de connaissances actuelles sur les palmiers de Madagascar

La flore des palmiers est dominée par des espèces de petite taille : 65 % des espèces connues sont des palmiers des sous-bois et des palmiers nains, d'une hauteur inférieure à 3 m ou d'un stipe de diamètre inférieur à 5 cm. Du point de vue de leurs habitats, près de 90 % des espèces de palmiers de Madagascar se rencontrent dans les forêts humides de l'est et du nord-ouest de Madagascar. Les palmiers deviennent rares dans les plaines occidentales et sont plutôt absents dans le sud-ouest. Au niveau local, les sites les plus riches en espèces sont caractérisés par la dominance des palmiers endémiques dont l'aire de répartition est restreinte alors que les espèces à large aire de répartition sont plutôt rares.

Sur les 208 espèces autochtones de Madagascar, 150 sont exploitées, avec au moins un usage pour l'homme. Les espèces ayant une aire de distribution assez large et qui sont relativement abondantes au niveau local sont souvent les plus utilisées. Les modes d'exploitation peuvent varier d'une région à l'autre même si certaines formes d'utilisation sont communes. Dans la région orientale, *Dypsis fibrosa* est l'espèce la plus exploitée avec 32 formes d'utilisation identifiées (vannerie, alimentation, outils ménagers, construction, etc.), tandis que *Bismarckia nobilis* est le palmier le plus convoité à l'ouest (21 formes d'utilisation).

La perte d'habitat constitue la principale menace expliquant le déclin des populations de palmiers, avec 112 espèces concernées. Certaines populations naturelles sont actuellement dans un état critique, incapables de se régénérer, du fait d'un nombre d'individus mâtures en dessous du seuil minimal nécessaire pour une population viable (fig. 2). Les menaces liées à l'utilisation des ressources biologiques – cueillette de plantes, notamment pour la consommation des cœurs de palmiers, ou collecte des graines de palmiers horticoles – constituent également un facteur de déclin des populations naturelles. Dans de nombreux cas, les exploitations sont destructives et non rationnelles.

Figure 2
Perte d'habitat naturel de Dypsis ambositrae *entre 2003 et 2019 dans la région d'Ambatofitorahana, au sud d'Ambositra.*
© J. Dransfield *(en haut)* et M. Rakotoarinivo (*en bas*).

Objectifs identifiés

Cinq objectifs ont été identifiés pour la conservation durable des palmiers en tenant compte de leurs impacts positifs sur le développement durable.

Objectif I. Une diversité bien comprise, documentée et reconnue

Il s'agit ici de mettre à disposition du public les dernières données publiées sur la nomenclature et la biologie de chaque espèce de palmiers à travers des sites web spécialisés, tels que PalmWeb (http://www.palmweb.org/) ou Tropicos (http://legacy.tropicos.org/Project/Madagascar). La participation du public au processus d'identification est requise, grâce à la création d'une clé d'identification interactive. En effet, cela permet à chaque participant de reconnaître et d'apprendre de façon synthétique les caractères diagnostiques de chaque espèce. Par ailleurs, une nouvelle mise à jour des statuts de conservation selon les catégories de la liste rouge de l'UICN est indispensable, afin de faire connaître à tout un chacun les pressions existantes sur les populations naturelles de ces espèces et de sensibiliser le plus grand nombre à leur conservation.

Objectif II. Une diversité conservée de façon urgente et efficace

Les connaissances scientifiques doivent servir à justifier les arguments pour la conservation au niveau national et la protection des plantes déclarées menacées. Les explorations de terrain doivent aider à localiser de nouvelles populations de palmiers, à produire des guides de terrain ou des fiches techniques sur les espèces locales afin de renforcer les capacités des agents forestiers, des techniciens de l'environnement ou des populations, à la surveillance des palmiers rares et en voie de disparition et, ainsi, stimuler l'intérêt des communautés locales à participer à la sauvegarde de cette diversité. Une approche inclusive de l'ensemble des acteurs locaux permettant d'intégrer les connaissances traditionnelles dans les politiques nationales de développement durable est nécessaire à leur efficacité.

Objectif III. Des palmiers utilisés de façon durable et équitable

Des collaborations avec les autorités compétentes doivent être priorisées pour la conservation *in situ* des palmiers menacés. La quantité de graines commercialisée au niveau international doit être définie avec le Comité pour les plantes, organe de gestion créé à Madagascar à la suite de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (Cites), ce qui permettrait de prendre les meilleures décisions pour leur conservation. Les espèces les plus exploitées doivent faire l'objet de programmes de multiplication *ex situ,* surtout quand des semenciers sont déjà cultivés. Si les graines ou les matières premières ne peuvent provenir que de palmiers sauvages, les pratiques de la filière des produits issus des palmiers doivent intégrer le principe de partage juste et équitable des bénéfices avec les communautés locales.

Objectif IV. Promotion de l'éducation et de la sensibilisation à la diversité végétale

L'éducation est essentielle à l'utilisation durable et équitable de la biodiversité et à sa conservation. Les moyens de subsistance des populations rurales locales, les produits et les services écosystémiques fournis doivent être expliqués pour améliorer la prise de conscience du public sur la valeur de ces espèces endémiques dans le développement durable. Des actions de promotion de l'utilisation des palmiers endémiques dans les reboisements sont à développer à un niveau grand public et dans les écoles.

Objectif V. Des capacités et un engagement des acteurs renforcés

Les plans de restauration des espèces représentent une opportunité pour promouvoir une meilleure communication entre les organismes environnementaux, les universités, les institutions de recherche, les jardins botaniques, et ce afin d'établir un réseau d'institutions qui travaillent en faveur de la conservation des palmiers de Madagascar. Des formations sont nécessaires pour augmenter le nombre des agents capables de reproduire et multiplier les palmiers dans les jardins botaniques et au niveau des communautés locales. Les jardins et conservatoires botaniques à travers Madagascar pourront ensuite échanger les jeunes plants de palmiers pour réussir une conservation *ex situ*.

Discussion

Les palmiers sont des plantes ressources, car ils fournissent des produits forestiers non ligneux importants pour l'économie des ménages ruraux dans le monde (Johnson, 2010). Ce sont les plantes les plus exploitées par les hommes après les graminées et les légumineuses (Bennett, 2011). Les richesses en palmiers de Madagascar offrent d'immenses possibilités d'utilisation dont le pays bénéficie à de nombreux égards, directement ou au travers des services écosystémiques.

Actuellement, la cueillette et l'exploitation des palmiers constituent un simple moyen de subsistance (Byg et Balslev, 2001 ; Bussman *et al*., 2015) même si des formes de valorisation commerciale existent à travers le pays, notamment pour la vannerie. Par ailleurs, des matières premières issues de palmiers sont utilisées pour construire les toitures ou les parois des cases traditionnelles. Le document-cadre produit par notre étude sur la stratégie de conservation et d'utilisation durable des palmiers de Madagascar doit évaluer les multiples usages des palmiers et des produits qui en sont issus, dans le cadre des activités forestières, agricoles, de conservation et de gestion intégrée des ressources naturelles.

Pour être pertinente, une stratégie de conservation doit intégrer les informations disponibles sur les taxons et les adapter aux actions de conservation requises

pour la mettre en œuvre (Lowry II et Smith, 2003). Les recherches sur les espèces doivent se poursuivre, notamment par des approches démographiques des populations végétales et ethnobotaniques. La connaissance de la structure et de la dynamique de ces populations est importante pour une bonne gestion des espèces rares ou menacées.

La conservation de la diversité et des ressources phytogénétiques en palmiers renforce les volets « Restauration forestière/reboisement/boisement » et « Exploitation forestière, valorisation et commercialisation des produits forestiers ligneux et non ligneux d'origine végétale » de la politique forestière de Madagascar (MEEF, 2017). Du fait de leur importance socio-économique, les palmiers constituent un matériel végétal de premier choix pour les actions de restauration des écosystèmes dégradés. Cet objectif pourrait être inclus dans le document-cadre *Stratégies et plans d'actions nationaux pour la biodiversité* développé pour Madagascar (Rabarison *et al.,* 2016) afin d'appuyer la mise en œuvre de la stratégie nationale pour la conservation des plantes dans le pays.

À cette fin, au cours des deux dernières décennies, la volonté politique du gouvernement s'est concrétisée, entre autres, par la création de nombreuses aires protégées, dont la mission principale est d'harmoniser les interventions et de réduire les différentes pressions sur la biodiversité (FAPBM, 2015). Toutefois, Madagascar fait face à de nombreuses contraintes pour la mise en œuvre de ses engagements concernant la protection de ses ressources biologiques. En ce qui concerne les palmiers, les principaux problèmes sont les suivants :

– l'absence de loi spécifique sur la protection et la gestion des espèces végétales menacées ou vulnérables. Le manque d'agents forestiers dans les zones de conservation se traduit souvent par le braconnage d'espèces rares mais très recherchées pour l'horticulture ou pour l'alimentation. De nombreux plants de palmiers sont vendus dans les marchés locaux ou le long des routes nationales sans que les marchands ne soient en possession de certificats attestant l'origine ou d'autorisations de vente de ces espèces ;

– les exploitants forestiers se soucient peu des dégâts causés par leur activité sur les ressources naturelles. Les palmiers et leurs habitats sont abattus pour leur fournir nourriture ou abri temporaire.

La conservation de la biodiversité passe avant tout par la prise de conscience d'un nécessaire changement de comportement et d'approche vis-à-vis de l'environnement : la participation des citoyens doit être forte (McClelland *et al*., 2013). Il est important de sensibiliser sur la valeur de la biodiversité, les causes de son appauvrissement et les conséquences de sa destruction sur le plan écologique, économique et culturel afin d'induire les bons comportements et les prises de décision appropriées à une meilleure conservation de la biodiversité (Milne et Niesten, 2009).

Conclusion

Le risque d'extinction élevé auquel sont confrontés les palmiers de Madagascar remet en question l'efficacité des mesures prises jusqu'à présent pour leur conservation. Alors que la densité de population humaine et la pression sur la biodiversité augmentent, le succès à long terme des zones protégées est au cœur des solutions potentielles pour la conservation des palmiers. La dernière extension de surface des aires protégées de Madagascar a été primordiale pour la protection des palmiers, de nombreuses espèces ayant ainsi pu bénéficier de nouvelles formes de protection de leurs habitats. Ces aires protégées nouvellement créées ont pour ambition d'allier la conservation de la biodiversité et le développement durable dans et autour des sites de conservation. Néanmoins, le réseau des aires protégées a des limites ; il manque souvent de gardes forestiers pour patrouiller au sein des parcs et réserves de grandes dimensions. Les braconnages d'espèces rares et importantes du point de vue économique se perpétuent dans les sites éloignés et peu surveillés.

Compte tenu de la pression croissante exercée par les populations humaines, aggravée par les effets prévus du changement climatique sur l'extinction des espèces, il est maintenant urgent de prendre des mesures prioritaires pour les palmiers de Madagascar. Les objectifs de conservation décrits dans ce chapitre constituent une base essentielle pour un tel processus, incluant nécessairement l'ensemble des acteurs concernés.

Références bibliographiques

Bennett B. C., 2011
Twenty-five economically important plant families. Encyclopedia of life support systems. EOLSS, Unesco, Paris.

Bussmann R. W., Paniagua Zambrana N., Kuhlman A., Rakotoarivony F., Razanatsima A., Rakotoarivelo N., Razafitsalama J. L., Randrianasolo A., Randrianasolo A., 2015
Palms and palm use in Ambalabe, a community in Eastern Madagascar. *Ethnobotany Research and Applications,* 14 : 17-26. http://ethnobotanyjournal.org//index.php/era/article/view/1020

Byg A., Balslev H., 2001
Diversity and use of palms in Zahamena, eastern Madagascar. *Biodiversity and Conservation*, 10 : 951-970.

Callmander M., Phillipson P. B., Schatz G. E., Andriambololonera S., Rabarimanarivo M., Rakotonirina N., Raharimampionona J., Chatelain C., Gautier L., Lowry II P. P., 2011
The endemic and non-endemic vascular flora of Madagascar updated. *Plant Ecology and Evolution,* 144 : 121-125. https://doi.org/10.5091/plecevo.2011.513

CDB, 2013
Quick guides to the Aichi biodiversity targets 2011-2020, 2e édition. Convention on Biological Diversity.

Cosiaux A., Gardiner L., Stauffer F., Bachman S. P., Sonke B., Baker W. J., Couvreur T., 2018
Low extinction risk for an important plant resource: conservation assessments of continental African palms (Arecaceae/Palmae). *Biological Conservation*, 221 : 323-333.

Debourdeau A., 2008
L'enquête de terrain et l'entretien. Cours controverses. ENSMP, Mines ParisTech, France, 10 p.

Debray M., 1975
Médecine et pharmacopée traditionnelles à Madagascar. *Études médicales*, 1 : 69-83.

Douglass K., Hixon S., Wright H. T., Godfrey L. R., Crowley B. E., Manjakahery B., Rasolondrainy T., Crossland Z., Radimilahy C., 2019
A critical review of radiocarbon dates clarifies the human settlement of Madagascar. *Quaternary Science Reviews,* 221 : 105878. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105878

Dransfield J., Beentje E., 1995
The palms of Madagascar. The Royal Botanic Gardens, Kew, International Palms Society, 471 p.

FAPBM (Fondation pour les aires protégées et la biodiversité de Madagascar), 2015
Rapport annuel 2015. 64 p.

Godfrey L. R., Scroxton N., Crowley B. E., Burns S. J., Sutherland M. R., Pérez V. R., Faina P., McGee D., Ranivoharimanana L., 2019
A new interpretation of Madagascar's megafaunal decline: the "subsistence shift hypothesis". *Journal of Human Evolution*, 130 : 126-140. https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2019.03.002

Goodman S. M., Benstead J. P., 2005
Updated estimates of biotic diversity and endemism for Madagascar. *Oryx*, 39 (1) : 73-77. https://doi.org/10.1017/S0030605305000128

Govaerts R., Dransfield J., Zona S., Hodel D. R., Henderson A., 2020
World checklist of Arecaceae. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. https://wcsp.science.kew.org/qsearch.do.

Hanski I., Koivulehto H., Cameron A., Rahagalala P., 2007
Deforestation and apparent extinctions of endemic forest beetles in Madagascar. *Biology Letters,* 3 (3) : 344-347. https://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0043

Herrera J. P., 2017
Prioritizing protected areas in Madagascar for lemur diversity using a multidimensional perspective. *Biological Conservation,* 207 : 1-8. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.028

Johnson D. V., 2010
Les palmiers tropicaux. Révision 2010. Produits forestiers non ligneux, 10/Rév.1. FAO, Rome, 227 p.

Lowry II P. P., Smith P., 2003
Closing the Gulf between botanists and conservationists. *Conservation Biology*, 17 (4) : 1175-1176. DOI:10.1046/j.1523-1739.2003.02378.x

McClelland A., Peel D., Hayes C.-M., Montgomery I., 2013
A values-based approach to heritage planning: raising awareness of the dark side of destruction and conservation. *Town Planning Review*, 84 (5) : 583-604. https://doi.org/10.3828/tpr.2013.31

MEEF (Ministère de l'Environnement, de l'Écologie et des Forêts, Madagascar), 2017
Stratégie nationale sur la restauration des paysages forestiers et des infrastructures vertes à Madagascar. 72 p.

Milne S., Niesten E., 2009
Direct payments for biodiversity conservation in developing countries: practical insights for design and implementation. *Oryx*, 43 (4) : 530-541. https://doi.org/10.1017/S0030605309990330

Mittermeier R. A., Robles Gil P., Hoffman M., 2005
Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. University of Chicago Press, 392 p.

Rabarison H., Randriamahaleo S. I., Andriambelo F. M., Randrianasolo H. L., 2016
Stratégie et plans d'actions nationaux pour la biodiversité 2015-2025. Ministère de l'Environnement, de l'Écologie et des Forêts, Madagascar, United Nations Environment Programme, 206 p.

Rakotoarinivo M., Dransfield J., Bachman S. P., Moat J., Baker W. J., 2014
Comprehensive Red List assessment reveals exceptionally high extinction risk to Madagascar palms. *PLoS ONE,* 9 (7) : e103684. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103684

UICN (Union internationale pour la conservation de la nature), 2020
The IUCN Red list of threatened species. Version 2020-1. Gland, Suisse. https://www.iucnredlist.org/en (accès 20/03/2020).

UICN/SSC (Union internationale pour la conservation de la nature/Species Survival Commission), 2008
Strategic planning for species conservation: a handbook. Version 1.0. Gland, Suisse, 104 p.

Ressources en ligne

Le document de planification de cette étude est disponible en ligne et au format PDF sur ResearchGate :

– En français : http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.18845.54245

– En anglais : http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25975.85924

Chapitre 46

Le management des connaissances liées aux usages des plantes

Une initiative combinant savoirs traditionnels et publications scientifiques pour l'approche *One Health*

Pierre Silvie
IRD, France

Pierre Martin
Cirad, France

Priscilla Keip
Cirad, France

Marianne Huchard
Université de Montpellier, France

Pascal Marnotte
Cirad, France

Zakaria Ilboudo
Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso

Appolinaire Tagne
Irad, Cameroun

Samira Sarter
Cirad, France

Introduction

La gestion des connaissances, ou *Knowledge Management,* est une démarche managériale pluridisciplinaire, dont l'aboutissement est le développement de méthodes pour constituer un capital cognitif au service d'une organisation selon un objectif initialement défini. Une centaine de définitions sont toutefois mentionnées par Girard et Girard (2015), en lien avec la perception polysémique du terme « connaissance », telle que située sur la pyramide DIKW (*Data, Information, Knowledge and Wisdom*) (Rowley, 2007). Un des enjeux est de rendre les connaissances accessibles et de proposer des outils adaptés (plateforme, logiciel) à des utilisateurs ayant des préoccupations variées.

Toujours en lien avec les termes employés dans ce chapitre, le concept « Une seule santé », ou « *One Health* », est défini comme « une approche collaborative, multisectorielle et transdisciplinaire, le travail étant réalisé sur le plan local,

régional, national et mondial, pour obtenir des résultats optimaux en matière de santé et de bien-être, tout en reconnaissant les interconnexions entre les personnes, les animaux, les plantes et leur environnement commun » (One Health Commission, 2019). Cette approche s'applique particulièrement bien aux pays tropicaux dans lesquels la pression des bioagresseurs est très importante vis-à-vis des populations humaines, notamment en santé publique, du fait de la transmission de maladies par divers organismes (insectes, mollusques hôtes intermédiaires de parasites), des animaux (santé animale), ou des végétaux cultivés (santé végétale). Les applications de pesticides de synthèse et l'utilisation de substances antibiotiques ou antimicrobiennes affectent, elles, la santé de l'environnement.

Les effets de l'utilisation des pesticides et leurs coûts (Williamson, 2011) sont de mieux en mieux caractérisés dans certaines filières où ces produits sont très employés, comme les cultures industrielles (cotonnier, cacaoyer) ou les cultures maraîchères et fruitières. Ces effets concernent la santé des applicateurs, des consommateurs, mais également la santé de l'environnement : pollution de l'eau, réduction des pollinisateurs, élimination des ennemis naturels des ravageurs (De Bon *et al*., 2014 ; Jepson *et al*., 2014). Dans le cas des insectes, la sélection d'individus résistants aux produits appliqués est une conséquence qui a été démontrée dans plusieurs cas (Martin *et al*., 2005 ; Abbas *et al*., 2014 ; Agboyi *et al*., 2016).

Les conséquences de l'utilisation intensive des antibiotiques et des antimicrobiens pour traiter les infections bactériennes sont également de mieux en mieux connues. L'utilisation des antibiotiques est associée à l'émergence, la sélection et à la propagation de bactéries résistantes dans la chaîne alimentaire et dans l'environnement, ce qui constitue une menace pour les santés humaines et animales (Cabello *et al*., 2016). Jusqu'à 80 % des antibiotiques généralement administrés en aquaculture sont accumulés dans l'eau et les sédiments, où ils exercent une pression sélective sur les communautés microbiennes du milieu aquatique. Sachant que la sélection de bactéries résistantes peut se faire à des concentrations d'antibiotiques extrêmement faibles, le milieu aquatique peut constituer un réservoir pour la dissémination de la résistance (Marti *et al*., 2014).

Face aux contraintes d'utilisation et aux conséquences mises en évidence de l'emploi des pesticides et des antibiotiques, de nouvelles modalités de culture ou d'élevage ont été développées dans des stratégies ou des pratiques qui visent à réduire l'usage de ces substances, voire à interdire leur emploi comme dans le cas de l'agriculture biologique.

Pour les producteurs inscrits dans cette démarche, l'utilisation des plantes ou de leurs extraits peuvent être schématiquement rapportées en (1) l'adoption de pratiques véhiculées par la transmission de savoirs traditionnels et (2) l'application de produits commerciaux formulés.

La première démarche découle de l'utilisation traditionnelle des plantes. En Afrique subsaharienne, mais également dans tous les pays du monde, l'ethnopharmacologie, qui relève des études ethnobotaniques, rapporte

l'utilisation des plantes ou de leurs extraits (extraits aqueux, huiles essentielles) en pharmacopée traditionnelle (Koné *et al*., 2004 ; Lehman *et al*., 2007). Mais les plantes sont également utilisées comme pesticides ou substances répulsives pour les cultures au champ (Grzywacz *et al*., 2014 ; Sola *et al*., 2014 ; Mkindi *et al*., 2015 ; Dougoud *et al*., 2019), la protection des semences stockées contre les ravageurs et les maladies (Guèye *et al*., 2011 ; Kedia *et al*., 2015 ; Mdangi *et al*., 2016) ou encore comme antihelminthiques dans les élevages (Desrues *et al*., 2017), antimicrobiens ou immunostimulants pour l'aquaculture (Reverter *et al*., 2020 ; Caruso *et al*., 2017 ; Kuebutornye et Abarike, 2020), ou en santé publique comme répulsifs des insectes piqueurs vecteurs de maladies (Pavela et Benelli, 2016). Des usages en tant que poisons pour la pêche sont également signalés dans la littérature (Neuwinger, 2004). Ces pratiques, souvent développées de façon empirique, sont mentionnées prioritairement par les producteurs eux-mêmes dans les enquêtes qui cherchent à mettre en lumière leurs innovations (Tambo, 2018). Par ailleurs, l'emploi de plantes entières ou de leurs extraits est plus facilement accessible et adopté par les producteurs des filières de l'agriculture biologique.

La seconde démarche, qui conduit à l'application de produits commercialisés, homologués ou non, permet d'élargir la gamme des formulations disponibles et d'économiser le temps de préparation des extraits. Les produits les plus connus sont à base de pyrèthre naturel (*Tanacetum cinerariifolium* Sch. Bip., Asteraceae) ou d'extraits de neem (*Azadirachta indica* A. Juss., Meliaceae). Assez peu de formulations prêtes à l'emploi sont donc finalement disponibles pour les producteurs qui souhaitent éviter l'usage des pesticides ou des antibiotiques.

Identifier de nouvelles espèces de plantes aux usages multiples nécessite l'exploration de la diversité végétale et un accès aux connaissances traditionnelles et académiques déjà existantes. Ces plantes pourraient présenter un intérêt pour leur mise en culture et le développement de chaînes de valeurs intégrant l'agriculture familiale. Mais l'utilisation des plantes peut également présenter des risques de toxicité importants (empoisonnement), souvent non mentionnés dans la littérature, notamment vis-à-vis des hommes, et d'autres d'effets non intentionnels néfastes pour l'écosystème. Ces risques doivent être évalués, et leur analyse constitue un autre objectif important à atteindre dans le contexte de l'approche *One Health*.

Le travail présenté dans ce chapitre a été conduit par un collectif de chercheurs en entomologie, microbiologie, botanique et informatique. Son objectif est de rassembler les connaissances liées aux usages des plantes présentées dans la littérature en remplacement possible des pesticides et antibiotiques de synthèse, afin de proposer des solutions alternatives aux producteurs du Sud. Pour ce faire, le management des connaissances a été abordé grâce à la mise en œuvre d'une base de connaissances appelée *Knomana* (contraction de *Knowledge management*), élaborée à partir des nombreuses informations déjà disponibles dans la littérature.

Les modalités de construction de cette base et une brève description de son contenu sont précisées, ainsi que les méthodes permettant son analyse pour extraire des connaissances ou en créer de nouvelles. Quelques exemples de plantes à usages multiples sont donnés.

Méthodologie

La structure de la base *Knomana* est formalisée par une ontologie (au sens informatique du terme), laquelle est utilisée pour la navigation et l'exploration.

Le recensement des utilisations des plantes a été effectué à partir des documents publiés dans les domaines de santé précédemment mentionnés. Ces utilisations relèvent de conditions expérimentales ou de pratiques courantes appliquées par les producteurs.

Construction de la base

Les connaissances sur les utilisations des plantes sont rassemblées et diffusées dans de multiples supports écrits ou visuels.

Les résultats des études portant sur l'utilisation des plantes et les principes actifs impliqués sont publiés sous la forme d'articles dans de nombreuses revues scientifiques ou des ouvrages complets (Arbonnier, 2019). Des connaissances sont également rapportées sous la forme de recettes dans des manuels ou des guides de portée nationale ou régionale (Stoll, 2002).

Un premier recensement des usages a été réalisé à partir de documents publiés en Afrique francophone, notamment au Burkina Faso et au Cameroun, et de ceux rédigés par les membres du réseau informel PPAf (Plantes pesticides d'Afrique). Les informations ont été recueillies après lecture par saisie manuelle. Par la suite, les recherches ont été élargies à des publications produites dans d'autres pays africains puis d'autres continents, afin de permettre notamment l'intégration d'informations relatives à des espèces exotiques envahissantes sur le continent africain (comme *Spodoptera frugiperda* ou *Tuta absoluta*).

Le jeu de données initial est conservé sous la forme d'un fichier Microsoft Excel®, facile d'emploi pour des saisies manuelles faites par des personnes peu familières des bases de connaissances. Pour les besoins des analyses, une vérification des termes a été effectuée, notamment grâce à des dictionnaires de données qui comportent la classification du vivant (*Catalogue of Life*, *Plants of the World*). Le jeu de données vérifié a ensuite été formaté pour des outils de fouille de données.

Chaque ligne du jeu de données représente une « connaissance » en santé végétale ou animale, c'est-à-dire une utilisation d'une plante, de manière expérimentale ou déjà réalisée par l'agriculteur, l'éleveur ou le pisciculteur, pour

protéger un organisme (plante ou animal) contre un autre organisme (appelé « organisme cible »). La santé publique et la santé humaine sont également concernées à travers les organismes vecteurs ou hôtes intermédiaires de maladies pour l'homme. Dans la base, les utilisations de plantes ou de leurs extraits pour la santé humaine peuvent concerner des symptômes ou des troubles, mais seuls les usages visant uniquement des organismes pathogènes ou parasites clairement identifiés sont considérés dans les résultats présentés ici.

La santé environnementale est représentée par les effets non intentionnels liés à l'usage des plantes contre certains organismes bénéfiques aux cultures (ennemis naturels de ravageurs, pollinisateurs), voire la phytotoxicité potentielle des extraits.

La première colonne de chaque ligne comprend le nom latin d'une espèce de plante de protection. Les autres colonnes du tableur constituent les attributs (informations) associés à chaque utilisation : caractéristiques liées aux plantes de protection, organismes ciblés, systèmes protégés comme les cultures et les animaux. Une description plus détaillée est donnée par Silvie *et al*. (2021).

Une ligne représente un seul usage de plante de protection. Cet usage correspond donc à une seule condition d'utilisation expérimentale ou une application déjà adoptée sur le terrain. Ainsi lorsque plusieurs doses ou concentrations d'extrait sont expérimentées, chacune est détaillée sur une ligne. Selon la même logique, un seul organisme à protéger est présent par ligne, une seule espèce de bioagresseur, une seule référence bibliographique. Toutefois, une exception peut être introduite dans le cas des articles de revues. En effet, les tableaux présentés dans ces articles peuvent comprendre plusieurs références pour une même espèce végétale. Dans ce cas, ces références sont reprises de façon détaillée et la référence de l'article de la revue mentionnée sous la forme « auteurs, année » dans la colonne dédiée.

Navigation et exploration

La navigation a pour objet l'identification d'une connaissance présente dans la base d'après des critères définis par l'utilisateur, et l'exploration l'établissement de nouvelles connaissances. Les méthodes de navigation et d'exploration détaillées ont été publiées par Keip *et al*. (2019). La navigation conceptuelle exploratoire est adaptée au contexte de grandes masses de données dans lequel les utilisateurs formulent des requêtes générales, potentiellement imprécises et sans connaissance préalable des données (Marchionini, 2006).

La base est décrite par une ontologie dont le modèle de données, implémenté dans le système protégé (https://protege.stanford.edu), comporte une structure ternaire (fig. 1, partie supérieure). La représentation des connaissances adoptée repose sur une relation ternaire entre la plante utilisée pour la protection (biopesticide), l'organisme cible (ravageurs, maladie ou, dans la construction actuelle, auxiliaires) et le système protégé (plante cultivée pré- ou post-récolte, animal).

Figure 1

Schéma reliant la base de connaissances et son ontologie (partie supérieure) *aux éléments du moissonneur conceptuel* (partie inférieure) *qui permettent à un utilisateur* (à gauche) *d'explorer la base afin de répondre à sa requête.*

© Cirad/P. Keip.

La base est analysée via la construction de classifications conceptuelles pour mettre en évidence de nouvelles connaissances et suggérer de nouvelles expérimentations. Ces classifications conceptuelles sont construites par application d'une méthode d'intelligence artificielle symbolique (analyse de concepts formels, ou ACF) fondée mathématiquement sur la structure de treillis (Barbut et Monjardet, 1970 ; Ganter et Wille, 1999).

Le système logiciel comportera, à terme, deux composantes inter-reliées, la base *Knomana* et le « moissonneur conceptuel », constituée de quatre éléments (Keip *et al*., 2019) (fig. 1, partie inférieure) : le constructeur de requêtes, l'extracteur de connaissances, l'outil de raisonnement qui analyse les données et l'outil de visualisation des connaissances. Le premier et le dernier de ces éléments ont pour but de permettre une interaction avec l'utilisateur.

Résultats

En parallèle au jeu de données initial, les documents consultés (articles, chapitres d'ouvrages, revues d'articles) ont été sauvegardés et regroupés au format PDF dans une bibliothèque Zotero. Les droits des revues sont préservés, seules les références de ces documents peuvent être communiquées sur demande.

La structure et une première version de la base (*Knomana, Usage des plantes à effet pesticide, antimicrobien, antiparasitaire, antibiotique*) ont été déposées en 2019 auprès de l'Agence pour la protection des programmes sous les numéros 122264 et 122779. Pour l'instant, une licence d'exploitation a été accordée aux seuls contributeurs pour cette première version.

Description et contenus

Début octobre 2020, le nombre de lignes ou descriptions (= connaissances) de la base *Knomana* était de 35 237, informations recueillies dans 462 documents dont 342 concernent le domaine de la santé végétale.

Domaines de santé et systèmes protégés

Les connaissances saisies concernent cinq grands domaines de la santé, avec des volumes d'informations variables pour chacun d'entre eux. La figure 2 représente les pourcentages calculés à partir du nombre total des lignes concernées pour chaque domaine.

Le domaine de la santé de l'homme, qui regroupe celui de la santé publique et de la santé humaine, est le plus important (44 % des connaissances saisies). En revanche, le domaine de la santé environnementale est très peu représenté (1 %).

Dans le domaine de la santé publique, les plantes entières ou leurs extraits ont pour objectif de tuer ou de repousser les vecteurs de maladie (insectes le plus souvent).

Figure 2
Répartition des usages saisis par grands domaines de la santé.

Dans le domaine de la santé végétale, les organismes ou systèmes protégés concernent 70 espèces de plantes cultivées. Certaines de ces plantes cultivées sont utilisées sous forme d'extraits pour la protection d'autres plantes comme, par exemple, *Carica papaya* (Caricaceae), *Anacardium occidentale* (Anacardiaceae) ou des espèces de la famille des Lamiaceae. Les systèmes protégés dans ce domaine peuvent être catégorisés comme suit :

– les denrées alimentaires : ce domaine intervient après la récolte des aliments. Les extraits de plantes utilisés ont pour vocation d'empêcher la contamination des aliments d'origine végétale par des contaminants, micro-organismes producteurs de toxines par exemple ;

– les grains stockés : ce domaine concerne la conservation des grains après la récolte, souvent dans des greniers, très importante en Afrique dans les zones sèches pour assurer l'alimentation des populations en période de « soudure » ;

– les semences : ce domaine concerne la conservation des organes végétaux destinés à être plantés à la campagne agricole suivante ;

– la protection des cultures au champ : ce domaine s'applique à toute production végétale au niveau du champ. La protection au niveau du champ cultivé est effectuée par application foliaire le plus souvent.

La tomate est fréquemment citée comme étant à protéger, en particulier contre des champignons pathogènes. Le riz, le maïs et le niébé sont également souvent mentionnés parce que leurs grains, stockés, sont à protéger de nombreux insectes.

Dans le domaine de la santé animale, 35 espèces à protéger sont présentes dans la base. Dans ce domaine, la catégorisation des systèmes protégés regroupe :

– l'aquaculture : les élevages de poissons et de crustacés sont concernés ;

– l'élevage : il s'agit d'élevages de mammifères terrestres (ovins, bovins, caprins, rongeurs, autres) ou d'oiseaux (volailles) ;

– les denrées alimentaires et les denrées stockées : idem qu'en santé végétale mais pour des aliments d'origine animale (fromages, par exemple) ;

– la conservation d'aliments d'origine animale : les extraits de plantes utilisés ont pour vocation d'empêcher la contamination des aliments d'origine animale.

Les animaux terrestres et aquatiques à protéger, majoritairement signalés dans la base, sont des Bovidae (*Bos taurus*, *Capra aegagrus*, *Ovis aries*), des Phasianidae (*Gallus gallus*), des Cyprinidae (*Carassius auratus*) et des Salmonidae (*Oncorhynchus masou*).

Organismes cibles

Dans la base *Knomana*, 668 espèces sont actuellement catégorisées comme organismes cibles, dont 384 dans le domaine de la santé végétale, 125 pour la santé animale, 83 en santé publique et 127 en santé humaine.

Les organismes cibles appartiennent à des taxons très divers, il peut s'agir, selon le domaine de santé concerné :

– d'Arthropodes tels que les insectes ou les acariens vecteurs de maladies pour l'homme, comme *Anopheles gambiae*, d'insectes ou d'acariens phytophages agissant au niveau du champ, comme le puceron *Brevicoryne brassicae,* ou dans des greniers de stockage de grains, comme la bruche *Callosobruchus maculatus* ;

– de maladies fongiques (*Aspergillus*) ou bactériennes (*Salmonella*) ;

– de nématodes phytopathogènes ;

– ou encore d'organismes pathogènes pour l'homme comme *Plasmodium falciparum*, responsable du paludisme.

La base contient également des acariens qui s'attaquent aux plantes ou aux animaux d'élevage, mais également des organismes pathogènes d'animaux, y compris de poissons (aquaculture).

Concernant la santé humaine, les organismes ciblés sont surtout des bactéries, des champignons et des insectes autres que les moustiques.

Espèces végétales étudiées pour leurs effets

Au total, 1 547 espèces végétales appartenant à 178 familles sont répertoriées pour le domaine de la santé végétale, 636 pour la santé animale, 386 pour la santé humaine, 806 pour la santé publique et 98 pour la santé environnementale.

Les familles botaniques possédant le plus grand nombre d'espèces recensées dans la base sont celles des Lamiaceae (297), Asteraceae (274), Fabaceae (243), Apiaceae (79), Myrtaceae (79), Euphorbiaceae (76), Rutaceae (65), Annonaceae (60), Apocynaceae (58), Meliaceae (54), Rubiaceae (54), Solanaceae (52) et Malvaceae (43).

Le management des connaissances présentes dans la base permet d'identifier les espèces de plantes qui peuvent concerner plusieurs domaines de santé, comme l'illustrent les espèces de la famille des Fabaceae par exemple (tabl. 1).

L'établissement de la base de connaissances permet de noter des usages multiples potentiels en milieu terrestre, mais également de faire des liens avec le milieu aquatique. Par exemple, l'espèce *Litsea cubeba* (Lauraceae) est employée en santé végétale (Jiang *et al*., 2009) et en aquaculture (Nguyen *et al*., 2016) (fig. 3).

Dans les grands domaines de la santé humaine et de la santé animale, la famille botanique des Fabaceae est la plus souvent citée. Elle sert à protéger également contre les insectes vecteurs de maladies (santé publique).

Tableau I
Classement des espèces de plantes de la famille des Fabaceae présentes dans la base Knomana *par nombre décroissant d'usages dans les cinq domaines de santé.*

Espèces végétales	Santé animale	Santé humaine	Santé publique	Santé végétale	Santé environnementale
Tephrosia vogelii	X	X	X	X	X
Senna occidentalis	X	X	X	X	
Acacia nilotica	X	X	X		
Daniellia oliveri	X	X	X		
Mimosa pudica	X		X	X	
Myroxylon balsamum			X	X	X
Parkia biglobosa	X	X		X	
Pongamia pinnata			X	X	X
Senna obtusifolia		X	X	X	
Senna siamea	X	X		X	
Sophora flavescens	X		X	X	
Tamarindus indica	X	X		X	
Vigna unguiculata	X	X	X		
Abrus precatorius			X	X	
Acacia caesia			X		X
Afzelia africana	X	X			
Albizia lebbeck		X	X		
Bauhinia reticulata	X	X			
Bauhinia thonningii	X	X			
Bauhinia variegata		X		X	
Cassia fistula	X			X	
Cassia sieberiana	X	X			
Copaifera reticulata	X			X	
Cullen corylifolium	X		X		
Dalbergia melanoxylon	X	X			
Derris elliptica				X	X
Derris sp.			X		X
Dalbergia sissoo			X	X	
Detarium microcarpum	X	X			
Derris trifoliata			X	X	
Entada abyssinica	X	X			
Erythrina variegata			X	X	
Faidherbia albida	X	X			
Gleditsia sinensis			X	X	

Espèces végétales	Santé animale	Santé humaine	Santé publique	Santé végétale	Santé environnementale
Gliricidia sepium			X	X	
Hymenaea courbaril			X	X	
Lonchocarpus sp.				X	X
Millettia ferruginea			X	X	
Ormocarpum cochinchinense			X		X
Phaseolus lunatus	X			X	
Prosopis africana	X	X			
Prosopis juliflora			X	X	
Pterocarpus erinaceus	X	X			
Pueraria montana			X	X	
Pueraria peduncularis			X	X	
Senna alata	X	X			
Senna auriculata	X		X		
Trigonella foenum-graecum	X			X	

Figure 3
Aliment de poisson enrichi en Litsea cubeba *(Lauraceae) à différentes doses. Ces longs rubans seront ensuite broyés en granulés/poudre.*
© Nguyen Hai Van, Vietnam.

Exemple de requête : espèces exotiques envahissantes

L'analyse faite dans le cas de deux espèces envahissantes de ravageurs sur le continent africain, respectivement sur le maïs et la tomate, *Spodoptera frugiperda* (Lépidoptères, famille des Noctuidae) et *Tuta absoluta* (Lépidoptères, famille des Gelechiidae), est présentée dans le tableau 2. La requête a permis de préciser les nombres d'espèces utilisées de différentes familles botaniques pour chacun de ces ravageurs. La comparaison des espèces de plantes recensées dans les aires d'origine des ravageurs avec les espèces – ou les genres – présentes sur le continent africain permettra d'identifier celles qui sont les plus intéressantes ou prioritaires à éprouver dans des expérimentations dans les pays d'Afrique subsaharienne.

Tableau 2
Nombre d'espèces de plantes, par famille botanique, présentes dans la base, ayant fait l'objet d'essais contre les ravageurs Spodoptera frugiperda *ou* Tuta absoluta.

Familles	***Spodoptera frugiperda***	***Tuta absoluta***
Asteraceae	25	8
Meliaceae	20	3
Annonaceae	20	0
Fabaceae	11	3
Euphorbiaceae	8	0
Rutaceae	7	0
Myrtaceae	7	3
Lamiaceae	7	7
Simaroubaceae	4	0
Rubiaceae	4	0
Poaceae	3	0
Piperaceae	3	6
Celastraceae	3	0
Anacardiaceae	3	0
Verbenaceae	2	0
Solanaceae	2	0
Picramniaceae	2	0
Malvaceae	2	0
Burseraceae	2	0
Bignoniaceae	2	0
Salicaceae	0	4
Rutaceae	0	4
Amaryllidaceae	0	2
Euphorbiaceae	0	2

Discussion

Le management des connaissances, et en particulier de celles relatives aux utilisations des plantes, est un défi majeur dans le contexte actuel de dégradation de l'environnement et des risques sanitaires associés à l'intensification des productions alimentaires. Le relever est une des caractéristiques qui confère à la base *Knomana* son intérêt dans le domaine des applications directes des plantes ou de leurs extraits pour protéger les cultures et les animaux de leurs bioagresseurs, afin de réduire l'impact des contaminants chimiques sur les écosystèmes naturels et cultivés. L'intérêt de cette démarche est bien mis en évidence à travers l'établissement de la base *Knomana*. Cette dernière permet en effet l'identification et l'intégration de connaissances publiées provenant des enquêtes ethnobotaniques et des études académiques. Les « entrées » sont multiples et permettent, par exemple, d'interroger la base selon les espèces ou les systèmes d'élevage ou de culture à protéger, les bioagresseurs cibles (ravageurs, micro-organismes pathogènes) ou les plantes utilisées et leurs origines géographiques. Des éléments sont donnés sur les composés principaux des extraits, les doses d'emploi et leurs effets, ainsi que sur les références bibliographiques rassemblées dans la bibliothèque Zotero (celle-ci constituée en parallèle rend possible la consultation des documents originaux, sous réserve des droits protégés). Dans le cas des espèces exotiques envahissantes, il est possible de savoir quelles sont celles qui ont fait l'objet de recherches dans leurs zones d'origine. La base est en perpétuelle actualisation au fur et à mesure des avancées de la littérature.

Cependant, il existe encore certaines limites. En premier lieu, seules les informations saisies sont disponibles ; or, les recherches sur les plantes sont extrêmement nombreuses et, comme le soulignait Isman et Grieneisen (2014), la qualité des informations recueillies n'est pas toujours fiable. Ainsi le nom latin, le chémotype lorsqu'il est connu, la zone géographique précise ne sont pas toujours indiqués dans les publications, et le dépôt d'échantillons *voucher* dans des collections très peu signalé. Si les extraits d'huiles essentielles sont souvent analysés chimiquement, cela n'est pas toujours le cas des extraits aqueux employés de façon spontanée par les populations. Les paramètres d'efficacité mesurés sont très variables, hétérogènes dans les unités données en lien avec les diverses méthodologies. La base *Knomana* actuelle ne comporte pas encore de références sur l'utilisation directe d'extraits de plantes à effet herbicide, ou de substances de défense naturelle ou de biostimulants issus de plantes.

La santé environnementale peut être appréhendée dans la base actuelle à travers les effets non intentionnels sur les plantes (effet de phytotoxicité des extraits) ou sur d'autres organismes non-cibles : organismes telluriques (vers de terre), aquatiques (daphnies), arthropodes bénéfiques (pollinisateurs, insectes prédateurs et parasitoïdes), mais également sur les communautés bactériennes (antibiorésistance). Mais le volume de publications qui concernent ces effets reste limité (1 % des connaissances) et doit être encore amélioré ; identifier les

manques de connaissances, comme les effets non intentionnels sur les organismes non-cibles, est une nécessité, notamment pour la procédure d'homologation de produits formulés et commercialisés.

Les plantes à effet pesticide ou antimicrobien peuvent elles-mêmes être attaquées par des ravageurs. Dans l'optique de les cultiver sans apports de pesticides de synthèse, il convient de qualifier les chaînes trophiques (ravageurs et leurs ennemis naturels, maladies) qui les concernent. Il apparaît ainsi utile de disposer d'une autre ontologie reliant les espèces de ces chaînes, caractérisation qui a été faite dans le cas des insectes foreurs de tiges des céréales (Martin *et al*., 2020).

Actuellement, les outils informatiques de production des structures conceptuelles et de règles d'implication (extracteur de connaissances du moissonneur conceptuel) sont opérationnels. Des méthodologies spécifiques ont été créées pour les exploiter. Une des difficultés à surmonter est l'extraction et la formalisation des données pertinentes pour répondre aux diverses questions, à partir des données brutes de la base *Knomana*.

Conclusion et perspectives

En dépassant les frontières thématiques des différentes santés définies, le management des connaissances est une solution adaptée pour atteindre la transdisciplinarité prônée par l'approche *One Health*.

Au plan des recherches, une des perspectives immédiates est une extension de *Knomana* pour explorer davantage la pluralité des services offerts par les espèces végétales. En effet, les plantes ont de nombreux autres usages que ceux évoqués. D'autres utilisations sont connues, à travers les plantes tinctoriales, les plantes dites « de service » qui assurent par exemple les couvertures végétales dans les modalités de culture en semis direct ou dans la stratégie dite de « *push-pull* », les plantes nectarifères qui favorisent le maintien d'insectes parasitoïdes ou d'organismes pollinisateurs, les plantes bio-indicatrices de l'état des milieux terrestres ou aquatiques, les plantes à effet allélopathique, etc. Ainsi, pour regrouper et saisir d'une manière pragmatique ces diverses utilisations, plusieurs matrices complémentaires pourraient être établies selon chacune de ces utilisations. De plus, la base actuelle pourrait être mise en relation avec celles sur les composés chimiques végétaux, afin de disposer d'une entrée pour une consultation par molécule ou famille chimique.

Concernant les applications, la production à large échelle à des fins d'exploitation commerciale est connue notamment dans le cas des huiles essentielles, des pyréthrines naturelles ou de la production d'artémisine, substance antipaludéenne. La promotion de l'utilisation d'autres extraits nécessitera toutefois des études sur la disponibilité des végétaux en grande quantité et la conservation de leur diversité, notamment pour les plantes médicinales présentes dans les forêts.

Remerciements

Les auteurs remercient le métaprogramme Inra-Cirad « *Transitions to global food security*/Transitions pour la sécurité alimentaire mondiale » (Glofoods) qui a financé en 2017-2018 le projet Knomana, dont est originaire la base de connaissances (https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR2019109314). La partie dédiée à l'exploration de connaissances a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme d'investissements d'avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004.

Références bibliographiques

Abbas R. Z., Zaman M. A., Colwell D. D., Gilleard J., Iqbal Z., 2014
Acaricide resistance in cattle ticks and approaches to its management: the state of play. *Veterinary Parasitology*, 203 : 6-20.

Agboyi L. K., Ketoh G. K., Martin T., Glitho I. A., Tamo M., 2016
Pesticide resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations from Togo and Benin. *International Journal of Tropical Insect Science*,
DOI : 10.1017/S1742758416000138

Arbonnier M. (éd.), 2019
Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. 3e édition.
Éditions Quæ/MNHN, France.

Barbut M., Monjardet B., 1970
Ordre et classification, algèbre et combinatoire.
Tomes I et II, Hachette, Paris, 374 p.

Cabello F. C., Godfrey H. P., Buschmann A. H., Dölz H. J., 2016
Aquaculture as yet another environmental gateway to the development and globalisation of antimicrobial resistance. *Lancet Infectious Disease*, 16 : e127-33. DOI : http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00100-6

Caruso D., Lusiastuti A. M., Taukhid T., Avarre J.-C., Yuhana M., Sarter S., 2017
Ethnobotanical uses and antimicrobial properties of plants in small-scale tropical fish farms: the case of Indonesian fish farmers in Java (Indonesia). *Journal of the World aquaculture society*, 48 (1) : 83-92. DOI : 10.1111/jwas.12345

De Bon H., Huat J., Parrot L., Sinzogan A., Martin T., Malézieux E., Vayssières J.-F., 2014
Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small farmers in sub-Saharan Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 : 723-736.
DOI : 10.1007/s13593-014-0216-7

Desrues O., Mueller-Harvey I., Pellikaan W. F., Enemark H. L., Thamsborg S. M., 2017
Condensed tannins in the gastrointestinal track of cattle after sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) intake and their possible relationship with antihelminthic effects. *Journal of agriculture and food chemistry*, 65 : 1420-1427.

Dougoud J., Toepfer S., Bateman M., Jenner W. H., 2019
Efficacy of homemade botanical insecticides based on traditional knowledge. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39 : 1-37.
DOI : doi.org/10.1007/s13593-019-0583-1

Ganter B., Wille R., 1999
Formal concept analysis, mathematical foundations. Springer-Verlag, Berlin, 284 p.

Girard J., Girard J., 2015
Defining knowledge management: toward an applied compendium. *Online Journal of Applied Knowledge Management*, 3 (1) : 1-20.

Grzywacz D., Stevenson P. C., Mushobozi W. L., Belmain S., Wilson K., 2014
The use of indigenous ecological resources for pest control in Africa. *Food Security*, 6 : 71-86.

Guèye M. T., Seck D., Wathelet J.-P., Lognay G., 2011
Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnologie, Agronomie, Sociétés, Environnement*, 15 (1) : 183-194.

Isman M. B., Grieneisen M. L., 2014
Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. *Trends in Plant Science*, 19 : 140-145.

Jepson P. C., Guzy M., Blaustein K., Sow M., Sarr M., Mineau P., Kegley S., 2014
Measuring pesticide ecological and health risks in West African agriculture to establish an enabling environment for sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 369 : 20130491. DOI : http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0491

Jiang Z., Akhtar Y., Bradbury R., Zhang X., Isman M. B., 2009
Comparative toxicity of essential oils of *Litsea pungens* and *Litsea cubeba* and blends of their major constituents against the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57 : 4833-4837. DOI : 10.1021/jf900274r

Kedia A., Prakash B., Mishra P. K., Singh P., Dubey N. K., 2015
Botanicals as eco-friendly biorational alternatives of synthetic pesticides against *Callosobruchus* spp. (Coleoptera: Bruchidae). A review. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (3) : 1239-1257. DOI : 10.1007/s13197-013-1167-8

Keip P., Ouzerdine A., Huchard M., Silvie P., Martin P., 2019
Navigation conceptuelle dans une base de connaissances sur l'usage des plantes en santé animale et végétale. Coria, Conférence en recherche d'informations et applications, mai 2019, Lyon.

Koné W. M., Atindehou K. K., Terreaux C., Hostettmann K., Traoré D., Dosso M., 2004
Traditional medicine in North Côte d'Ivoire: screening of 50 medicinal plants for antibacterial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 93 : 43-49.

Kuebutornye F. K. A., Abarike E. D., 2020
The contribution of medicinal plants to tilapia aquaculture: a review. *Aquaculture international*, DOI : doi.org/10.1007/s10499-020-00506-3

Lehman A. D., Dunkel F. V., Klein R. A., Ouattara S., Diallo D., Gamby K. T., N'diaye M., 2007
Insect management products from Malian traditional medicine. Establishing systematic criteria for their identification. *Journal of Ethnopharmacology*, 110 : 235-249.

Marchionini G., 2006
Exploratory search: from finding to understanding. *Communications of the ACM*, 49 : 41-46.

Marti E., Variatza E., Balcazar J. L., 2014
The role of aquatic ecosystems as reservoirs of antibiotic resistance. *Trends in Microbiology*, 22 : 36-41.

Martin T., Ochou O. G., Djihinto A., Traore D., Togola M., Vassal J.-M., Vaissayre M., Fournier D., 2005
Controlling an insecticide resistance bollworm in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 107 : 409-411.

Martin P., Silvie P., Marnotte P., Goebel F.-R., 2020
A decision support system for determining sugarcane pest reservoir. *Sugar Tech*, 22 (4) : 655-661.

Mdangi M., Sibuga P. K., Massawe A. W., Magadula J. J., Ngowo V., Mrosso F. P., Mkangwa Z. C., Kilonzo B. S., Mulungu L. S., 2016
Farmers' knowledge, attitude and perceptions on the use of locally available plant material to prevent rodent damage to maize crop in Eastern Tanzania. *African Journal of Agricultural Research*, 11 (48) : 4902-4910. DOI : 10.5897/AJAR2016.11715

Mkindi A. G., Mtei K. M., Njau K. N., Ndakidemi P. A., 2015
The potential of using indigenous pesticidal plants for insect pest control to small scale farmers in Africa. *American Journal of Plant Sciences*, 6 : 3164-3174.

Neuwinger H. D., 2004
Plants used for poison fishing in tropical Africa. *Toxicon*, 44 : 417-430.

Nguyen H. V., Caruso D., Lebrun M., Nguyen N. T., Trinh T. T., Meile J.-C., Chu-Ky S., Sarter S., 2016
Antibacterial activity of *Litsea cubeba* (Lauraceae, May Chang) and its effect on the biological response of common carp *Cyprinus carpio* challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Applied Microbiology*, 121 : 341-351. DOI : 10.1111/jam.13160

One Health Commission, 2019
www.onehealthcommission.org (consulté en sept. 2020).

Pavela R., Benelli G., 2016
Ethnobotanical knowledge on botanical repellents employed in the African region against mosquito vectors. A review. *Experimental Parasitolology*, 167 : 103-108.

Reverter M., Tapissier-Bontemps N., Sarter S., Sasal P., Caruso D., 2020
Moving towards more sustainable aquaculture practices: a meta-analysis on the potential of plant-enriched diets to improve fish growth, immunity and disease resistance. *Reviews in Aquaculture,* 13 (1) : 537-555. DOI : 10.1111/raq.12485

Rowley J., 2007
The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, 33 (2) : 163-180. DOI : 10.1177/0165551506070706 163

Silvie P., Martin P., Huchard M., Keip P., Gutierrez A., Sarter S., 2021
Prototyping a knowledge-based system to identify botanical extracts for plant health in sub-Saharan Africa. *Plants*, 10 (5) : 896. https://doi.org/10.3390/plants10050896

Sola P., Mvumi B. M., Ogendo J. O., Mponda O., Kamanula J. F., Nyirenda S. P., Belmain S. R., Stevenson P. C., 2014
Botanical pesticide production, trade and regulatory mechanisms in sub-Saharan Africa: making a case for plant-based pesticidal products. *Food Security*, 6 (3) : 369-384.

Stoll G., 2002
Protection naturelle des végétaux en zones tropicales : vers une dynamique de l'information. Margraf Verlag, 2e édition, 386 p.

Tambo J. A., 2018
Recognizing farmer-generated innovations through contests: insights from four African countries. *Food Security*, 10 (5) : 1237-1250. DOI : doi.org/10.1007/s12571-018-0835-y

Williamson S., 2011
« Understanding the full costs of pesticides: experience from the field, with a focus on Africa ». *In Pesticides. The impacts of pesticide exposure*. DOI : 10.5772/14055

Chapitre 47

La comptabilité écosystémique du capital naturel au service des décideurs de la gestion environnementale

Solofo Rakotondraompiana
Université d'Antananarivo, Madagascar

Tony Arison Ramihangihajason
Université d'Antananarivo, Madagascar

Lalaina Rambeloarisoa
Université d'Antananarivo, Madagascar

Edmond Roger
Université d'Antananarivo, Madagascar

Solofoarisoa Rakotoniaina
Université d'Antananarivo, Madagascar

Malala Aalexandra Razafindrabe
Université d'Antananarivo, Madagascar

Miadana Faramalala
Université d'Antananarivo, Madagascar

Introduction

La biodiversité est une réserve globale de réponses fonctionnelles aux modifications environnementales. Pour cela, elle est considérée comme fondamentale pour la résilience de la biosphère (McNeill et Shei, 2002). La dégradation actuelle de l'environnement a également des répercussions sur la société humaine. Le rapport publié en 2010 du TEEB (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*) montre que les ressources naturelles représentent un patrimoine économique, qu'elles soient ou non un élément marchand (TEEB, 2010). Cependant, les comptabilités nationales ne reflètent pas l'état des stocks de capital naturel[1] ni les flux de services écosystémiques. Ainsi, les conséquences économiques dues aux pertes d'écosystèmes et de biodiversité, sont transparentes dans les comptes nationaux.

1 Le capital naturel est une « métaphore économique représentant le stock d'écosystèmes fonctionnels, y compris la biodiversité, qui assure le flux de biens et de services naturels sur lesquels reposent notre économie et notre bien-être » (Aronson *et al.*, 2007 a et b).

Plusieurs approches de comptabilité écosystémique existent à ce jour. Toutefois, en dehors de l'approche SEEA, les comptes du capital naturel se limitent à la considération d'impacts environnementaux des activités économiques des entreprises (Ionescu *et al.*, 2019). Par contre, la comptabilité écosystémique du capital naturel (CECN) prend en compte à la fois la situation actuelle des services écosystémiques et leur évolution. Cette méthode a été proposée par la Convention sur la diversité biologique (CDB) afin de répondre à l'objectif 2 d'Aïchi (Leadley, 2014) qui engage les pays membres de la CDB à intégrer des valeurs de biodiversité dans leur comptabilité nationale.

Une aire protégée est un espace dont la vocation est d'assurer à long terme la conservation de la nature et des services écosystémiques (Dudley, 2008) ainsi que les valeurs culturelles qui lui sont associées (Kamada *et al.*, 2003). Un projet pilote a été initié en 2018 dans l'aire protégée du Complexe Mahavavy-Kinkony à Madagascar. Son objectif était de réaliser les comptes environnementaux de cette zone et de les utiliser comme des instruments de gestion du milieu pour les décideurs et les gestionnaires de l'environnement.

Cet article présente le Complexe Mahavavy-Kinkony où les expériences ont été menées, la méthode CECN et les données utilisées. Les résultats de la comptabilisation écosystémique sont présentés, interprétés et discutés.

Matériels et méthodes

Site d'étude

La nouvelle aire protégée du Complexe Mahavavy-Kinkony (CMK) est localisée au nord-ouest de Madagascar, dans la Région Boeny (fig. 1). Elle appartient à la catégorie V « paysages terrestres ou marins protégés » de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). Sa gestion est actuellement assurée par l'association Asity Madagascar (Asity Madagascar, 2015).

Avec un climat de type subtropical, l'aire protégée du CMK est incluse dans le domaine phytogéographique de l'Ouest (Humbert, 1965) et dans la zone écofloristique occidentale de basse altitude de 0 à 800 m (Rajeriarison et Faramalala, 1999). La végétation climacique y est représentée par une forêt dense caducifoliée de la série à *Dalbergia*, *Commiphora* et *Hildegardia* (Humbert, 1965). La richesse floristique de l'ensemble du Complexe s'élève à 199 espèces réparties dans 75 familles et 154 genres. Parmi l'ensemble des espèces inventoriées, 69 sont endémiques au niveau national et deux localement (*Securinega perrieri* et *Erythrophleum couminga*) (Biodev, 2014).

La plupart des espèces fauniques sont également endémiques et menacées d'extinction. La forêt dense sèche constitue un habitat naturel pour les primates, les chauves-souris et les oiseaux forestiers (Asity Madagascar, 2009).

Figure 1
Localisation de l'aire protégée du Complexe Mahavavy-Kinkony.

Comptabilité écosystémique du capital naturel

La comptabilité écosystémique du capital naturel (CECN) se compose de plusieurs comptes biophysiques. À partir du compte de couverture des terres, trois comptes écosystémiques sont dérivés : le compte du carbone écosystémique, le compte de l'eau écosystémique et le compte de l'infrastructure des services fonctionnels écosystémiques (ou compte des services intangibles). Ces trois comptes sont composés chacun de quatre parties : le bilan de base de la ressource écosystémique, les ressources accessibles, l'utilisation totale du service et enfin les indices d'intensité d'utilisation et de santé (ou qualité) de la ressource écosystémique. Les indices des trois comptes sont ensuite combinés en un indice composite de la valeur écologique dont la différence entre les années d'ouverture et de clôture des comptes donne, selon que la valeur trouvée soit négative ou positive, une indication de la dette écologique ou du crédit écologique de la zone étudiée. Le compte de la « capabilité écosystémique » permet également de calculer la capabilité écosystémique totale (CET), c'est-à-dire la capacité de l'écosystème à fournir l'ensemble des services écosystémiques. La particularité de la méthode CECN est l'interaction entre quantité et qualité des ressources naturelles (Weber, 2014). Elle propose également des tableaux comptables équivalents à ceux fournis par les comptes nationaux. Ainsi, l'approche CECN est considérée comme un moyen de rassembler les connaissances disponibles et de les présenter sous une forme facilement accessible aux décideurs (Weber, 2014).

Récolte des données

La période comptable considérée dans cette étude est 2013-2018, soit 5 ans.

Des images Landsat-8 (scène 160-071) ont été utilisées pour établir les cartes d'occupation des terres de la zone d'étude pour ces deux dates considérées comme date d'ouverture et date de clôture des comptes. La nomenclature de base possède 14 classes, mais des classes dérivées peuvent être déduites selon les besoins (Weber, 2014).

Les valeurs des précipitations ont été obtenues à partir d'images TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) et GPM (*Global Precipitation Measurement*) et les valeurs de l'évapotranspiration à partir d'images Modis (MOD16A2). Les données concernant la population locale et la superficie des lacs et des rivières, ont été obtenues auprès des administrations communales. Quant aux données sur l'utilisation de l'eau (consommation, rejet, eau de pluie récoltée), elles ont été obtenues à la suite d'enquêtes effectuées auprès de la population locale.

Pour chaque tableau de compte, les stocks de carbone ont été classés par catégorie d'utilisation des terres suivant la classification du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), à savoir : l'habitat, les terres cultivées, les prairies, les terres boisées, les autres terres et les zones humides. Les données concernant la biomasse aérienne, les litières et les bois morts. Ensuite, elles ont été intégrées dans l'équation allométrique de Chave *et al.* (2014) pour évaluer la biomasse aérienne. Pour le carbone organique du sol, les valeurs issues des travaux de Grinand *et al.* (2009) ont été utilisées. En l'absence de données, on suppose que les stocks de carbone organique du sol ne changent pas. Le carbone impliqué dans les ressources et emplois économiques a été obtenu à partir d'enquêtes socio-économiques effectuées auprès d'un échantillon de 85 ménages dans la zone d'étude. Le potentiel écosystémique du paysage a été ensuite obtenu par la formule suivante :

$$PEP = (IFPV + IHVN) * IFP$$

où *IHVN* est l'indice de haute valeur naturelle, *IFPV* l'indice du fond de paysage vert et *IFP* l'indice de fragmentation du paysage.

Ces trois indices sont estimés selon le type de couverture des terres. L'IHVN reflète le niveau de conservation de chaque zone. Ainsi, la note la plus élevée est attribuée au noyau « dur » de l'aire protégée. L'IFPV met en évidence l'autorégulation et le potentiel de biomasse de chaque type d'écosystème. L'indice de fragmentation (IFP) est donné par Jaeger (2000).

Résultats

Compte des couvertures des terres

Pour la réalisation des cartes d'occupation des terres (fig. 2), une nomenclature à seize classes a été adoptée : village, rizière, canne à sucre, raphia, mosaïque de cultures, savane herbeuse, forêt intacte, forêt dégradée, mangrove intacte, mangrove dégradée, mangrove recrue, tanne, savane arbustive, sol nu et sable, phragmites et eau.

Figure 2
Cartes de couverture des terres du Complexe Mahavavy-Kinkony en 2013 (A) et 2018 (B).

L'analyse de l'évolution de la couverture des terres entre 2013 et 2018 a ensuite permis de produire le tableau de compte des couvertures des terres (tabl. 1).

Compte de l'eau écosystémique

Le compte de l'eau écosystémique (tabl. 1) inclut les eaux sous toutes ses formes au sein de la zone étudiée : eaux entrant et sortant naturellement de la zone, et celles importées ou exportées. Les segments pour lesquels il n'existe pas de données sont supposés inchangés entre les dates d'ouverture et de clôture des comptes.

Compte du carbone écosystémique

Le compte du carbone écosystémique (tabl. 2) inclut le carbone sous toutes ses formes, qu'il soit d'origine naturel ou anthropique.

Tableau 1
Compte des couvertures des terres du Complexe Mahavavy-Kinkony (ha).

Stocks et flux de couverture des terres	Classes d'occupation des terres (ha)						
	0102 Village	0201 Rizière	0301 Canne à sucre	0303 Raphiale	0403 Mosaïque de culture	0502 Savane herbeuse	060101 Forêt intacte
I. Stocks d'ouverture							
Stocks d'ouverture (2013)	**433**	**4 256**	**4 728**	**959**	**5 817**	**63 937**	**50 031**
II. Formation de couverture des terres							
F_If1 Artificialisation	119						
F_If2 Extension de l'agriculture		2 529	881	40	8 692	1 857	
F_If3 Conversions internes et rotations		11	228	0	26	0	7 899
F_If4 Gestion et altération des espaces forestiers						18 129	
F_If5 Restauration et création d'habitats						165	0
F_If6 Changements dus à des causes naturelles et multiples							
F_If7 Autres changements des terres n.c.a* et réévaluation							
Total, formation de couverture des terres	**119**	**2 540**	**1 109**	**40**	**8 718**	**20 151**	**7 899**
C_If1 Artificialisation				28		305	
C_If2 Extension de l'agriculture						2 010	774
C_If3 Conversions internes et rotations				37	228		7 805
C_If4 Gestion et altération des espaces forestiers							2 848
C_If5 Restauration et création d'habitats				155	16	13 807	
C_If6 Changements dus à des causes naturelles et multiples					2	135	
C_If7 Autres changements des terres n.c.a* et réévaluation							
Total, consommation de couverture des terres	**0**	**0**	**0**	**220**	**246**	**16 257**	**11 427**
Changement net de couverture des terres	119	2 540	1 109	- 180	8 472	3 894	- 3 528
IV. Stocks de clôture							
Stocks de clôture (2018)	**552**	**6 796**	**5 837**	**779**	**14 289**	**67 831**	**46 503**

* n.c.a. : non classé par ailleurs.

Classes d'occupation des terres (ha)									
060102 Forêt dégradée	060401 Mangrove intacte	060402 Mangrove dégradée	060403 Mangrove recrue	060404 Tanne	07 Savane arbustive	10 Sol nu et Sable	1201 Phragmites	13 Eau	Total
42 800	**6 816**	**14 482**	**3 047**	**6 530**	**82 737**	**8 391**	**2 284**	**53 514**	**350 762**
								4 832	4 951
									13 999
12 855	303	5 227	878	536					27 963
					16 898	295			35 322
1 837	1	292	77	1 333	12 028				15 733
						722	212		934
									0
14 692	**304**	**5 519**	**955**	**1 869**	**28 926**	**1 017**	**212**	**4 832**	**98 902**
56	1	236	53	198	665	3 184	226		4 952
2 778	0	146	0	120	6 136	1 198	548	296	14 006
6 255	2 189	802	1 716	369	8 547				27 948
16 487	0	1 844	14	2 748	11 384				35 325
						1 096	320	342	15 736
								798	935
									0
25 576	**2 190**	**3 028**	**1 783**	**3 435**	**26 732**	**5 478**	**1 094**	**1 436**	**98 902**
- 10 884	-1 886	2 491	- 828	- 1 566	2 194	- 4 461	- 882	3 396	
31 916	**4 930**	**16 973**	**2 219**	**4 964**	**84 931**	**3 930**	**1 402**	**56 910**	**350 762**

Tableau 2
Compte de l'eau du Complexe Mahavavy-Kinkony (m^3).

		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sols et végétations	Total
I. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique						
W1	Stocks d'ouverture (2013)	1 252 540 000	12 743 205 120	328 629 687	836 863 910	15 161 238 717
W2	Total des apports et retours d'eau		12 470 664 960		1 827 069 397	14 297 734 357
W3	Total des sorties d'eau [diminution des stocks]	250 263 917	13 631 997 116		752 161 017	14 634 422 050
W4a	Pluie efficace disponible				- 1 376 866 813	- 1 376 866 813
W4	Accumulation nette d'eau écosystémique	- 250 263 917	- 1 161 332 156		1 074 908 380	- 336 687 693
W5	Stocks de clôture (2018)	1 002 276 083	11 581 872 964	328 629 687	1 911 772 290	14 824 551 024
II. Compte de la ressource écosystémique accessible						
W2a	Ressources totales en eau naturelles renouvelables		12 470 664 960		1 749 868 515	14 220 533 475
W2b	Ressources totales en eau secondaires				77 200 882	77 200 882
W6	Ressources en eau primaires et secondaires nettes		11 198 657 134		1 449 826 907	12 648 484 041
W7a	Ressources en eau naturelle exploitables	367 188 526	27 292 240 274	30 707 591	2 586 085 653	30 276 222 045
W72	Total des ajustements des ressources en eau secondaires renouvelables				42 460 485	42 460 485
W7b	Ressources en eau secondaires exploitables				119 661 367	119 661 367
W7	Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème	367 188 526	27 292 240 274	30 707 591	2 705 747 021	30 395 883 412

		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sols et végétations	Total
III. Utilisation totale de l'eau						
W8	Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique	117 926 641	1 199 772 762	30 910 485	1 093 991 278	2 442 601 166
W9	Utilisation directe d'eau	117 926 641	1 199 772 762	30 910 485	1 094 027 146	2 442 637 034
W10	Consommation intérieure d'eau	117 926 641	1 199 772 762	30 910 485	1 093 989 188	2 442 599 076
W12	Exigence totale en eau	117 926 641	1 199 772 762	30 910 485	1 094 027 146	2 442 637 034
IV. Intensité d'utilisation et indice de santé de l'eau						
W7	Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème	367 188 526	27 292 240 274	30 707 591	2 705 747 021	30 395 883 412
W8	Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique	117 926 641	1 199 772 762	30 910 485	1 093 991 278	2 442 601 166
W13	Intensité soutenable de l'utilisation des ressources en eau écosystémiques	1	1	0,99	1	1
W14	Indice composite du changement de l'état de santé de l'eau écosystémique	0,85	0,83	1	1	0,85
W15	Valeur unitaire écosystémique interne	0,92	0,91	0,99	1	0,92

Tableau 3
Compte du carbone écosystémique du Complexe Mahavavy-Kinkony (tonnes de C).

	Catégories d'utilisation des terres du Giec/Écosystèmes	CL Terres cultivées (cultures de canne à sucre)	GL Prairie (savane)	Mangrove	Forêt sèche	OL Autres terres
I. Bilan de base du carbone écosystémique						
C1	Stocks d'ouverture	56 106	258 306	5 148 447	9 854 917,1	543 858
C2.1	PPB (Production primaire brute)	93 100	526 472	4 815 326	17 992 462	1 936
C2.3	PPN (Production primaire nette)	46 550	263 236	2 407 663	8 996 231	654 968
C2.a	PEN (Production écosystémique nette) = C2.3 - C2.4	18 620	105 294,4	963 065,2	3 598 492,4	261 987,2
C2.7	Retours de production (résidus, fumier, rejets)	7 931	278 765	6	533 509,75	277 724
C2.b	Sous-total de la ressource en carbone organique secondaire	7 931	278 765	6	533 509,75	277 724
C2	Total des apports nets de carbone organique (gains) = C2.a + C2.b	26 551	384 059,4	963 071,2	4 132 002,2	539 711,2
C4	Pertes nettes indirectes anthropiques de carbone organique et combustion de biocarburants	0	18 077	578 702	3 765 068	44 202
C5	Utilisation totale de carbone écosystémique [UTCE] = C3+C4	35 286	23 6 861	578 804	3 773 405,6	268 958
C6	Processus et perturbations naturels	0	0	0		0
C7	Total des sorties nettes de carbone organique (pertes)	35 286	23 6 861	578 804	3 773 405,6	268 958
C8.1	Accumulation nette de carbone écosystémique 1 [ANCE1, flux] = Gains - Pertes = C2-C7	- 8 735	147 198,4	384 267,2	358 596,52	270 753,2
C8.2	Ajustement et réévaluations	21 896	- 131 467,4	- 836 306,2	- 1 888 572	- 133 783,2
C8.3	ANCE 2 [Stocks] = Changements dans les stocks de carbone organique	13 161	15 731	- 452 039	- 1 529 975	136 970
C9	Stocks de clôture = C1+C8.1+C8.2 ou = C1+C8.3	69 267	274 037	4 696 408	8 324 942	680 828

II. Compte de la ressource écosystémique accessible						
C2	Total des apports nets de carbone organique (gains) = C2.a + C2.b	26 551	384 059,4	963 071,2	4 132 002,2	539 711,2
C10	Ajustement net de l'accessibilité	- 5 231	0	- 664 684	- 1 258 632	- 130 994
C11	Excédent net de carbone écosystémique accessible [ENCEA] = C2+C10	21 320	384 059,4	298 387,2	2 873 369,7	408 717,2
III. Compte de l'utilisation totale du carbone organique et du carbone minéral						
C3	Prélèvements total de carbone organique = C3.a+C3.b	35 286	218 784	102	8 337,66	224 756
C4	Pertes nettes indirectes anthropiques de carbone organique et combustion de biocarburants	0	18 077	578 702	3 765 068	44 202
C5	Utilisation totale de carbone écosystémique [UTCE] = C3+C4	35 286	236 861	578 804	3 773 405,6	268 958
C12a	Utilisation directe de carbone organique = C5+C12.1	35 286	236 861	583 066	3 773 405,6	268 958
C12b	Consommation intérieure de carbone organique = C5+C12.1-C12.2	35 286	236 861	554 653	3 763 405,6	268 958
C12c	Exigence en carbone organique = C12a+C12.3	35 286	236 861	583 066	3 773 405,6	268 958
C14a	Utilisation directe de carbone = C12a+C13a	35 286	236 861	583 066	3 773 405,6	268 958
C14b	Exigence totale en carbone = C12c+C13b	35 286	236 861	583 066	3 773 405,6	268 958
IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique						
C11	Excédent net de carbone écosystémique accessible [ENCEA] = C2+C10	21 320	384 059,4	298 387,2	2 873 369,7	40 8 717,2
C5	Utilisation totale de carbone écosystémique [UTCE] = C3+C4	35 286	236 861	578 804	3 773 405,6	268 958
C15 [ISUC]	Intensité soutenable de l'utilisation du carbone écosystémique = C11/ C5	0,6	1	0,5	0,76	1
C16 [ICES]	Indice composite de l'état de santé du carbone écosystémique	0,75	1	1	0,88	1
VUEI	Valeur unitaire écosystémique interne (changement) = AVG (C15 [ISUC]+C16 [ICES])	0,67	1	0,75	0,82	1

Compte de l'infrastructure écosystémique

Ce compte représente (fig. 3) les services intangibles qui ne sont pas mesurables ou palpables. Ces services dépendent du bon état des écosystèmes et sont mesurés de façon indirecte (Weber, 2014).

Figure 3
Méthode de calcul du potentiel écosystémique du paysage du Complexe Mahavavy-Kinkony.

Discussion

Tous les comptes écosystémiques étant liés à l'occupation des terres, la carte de la couverture des terres joue un rôle très important dans la structuration du système d'information tout entier (Weber, 2014). Les images satellitaires utilisées pour réaliser les cartes d'occupation des terres ont une résolution de 15 m. En effet, cette résolution permet de mieux distinguer les classes.

Selon le compte de l'occupation des terres, des diminutions d'environ 7 % de la forêt sèche et de 28 % de la mangrove intacte, sont enregistrées dans le Complexe Mahavavy-Kinkony entre 2013 et 2018. La superficie des forêts intactes de la NAP du Complexe Mahavavy-Kinkony présente un taux de dégradation annuelle de l'ordre de 1,4 %. Ce taux est légèrement différent de celui trouvé par Biodev (2014) qui est de 1 % entre 2010 et 2013.

Le stock d'eau dans l'aire protégée CMK connaît une baisse de 2,2 % entre 2013 et 2018, suite à la diminution des précipitations au cours de la période comptable. L'excédent net d'eau accessible dans l'écosystème du Complexe

Mahavavy-Kinkony (W7, tabl. 2), est supérieur à l'exigence totale en eau (W12). Les ressources en eau accessibles et exploitables restent, pour le moment, suffisantes pour maintenir le fonctionnement de l'écosystème et pour subvenir aux besoins des communautés.

Conclusion et perspectives

La comptabilisation des écosystèmes est un moyen pour compiler les connaissances disponibles et les présenter sous une forme susceptible d'aider les décideurs. Une telle approche produit en effet des informations utiles aux décideurs tout en fournissant un cadre de référence pour un système futur où les valeurs monétaires des écosystèmes et de la biodiversité seront incorporées dans les comptes nationaux.

Les résultats du compte d'occupation des terres, entre 2013 et 2018, montrent que l'aire protégée CMK a subi les conséquences de l'extension des agglomérations et des zones de culture, et de la diminution du couvert arboré. Parallèlement, les forêts sèches, les mangroves et les raphias tendent à disparaître. Ces diminutions s'expliquent par la croissance de la population et les problèmes liés à la migration. En effet, la migration est actuellement un problème national dû à la sécheresse dans le Sud de Madagascar. La diminution des ressources en eau doit faire l'objet d'une décision forte au niveau national. Le compte du carbone écosystémique permet d'émettre des diagnostics sur l'utilisation, la santé et la qualité de la performance des écosystèmes à effectuer le service de séquestration de carbone. Ainsi, l'ensemble des comptes ont la capacité de montrer les impacts des activités humaines sur les écosystèmes.

Références bibliographiques

Aronson J., Blignaut J., Milton S., 2007a
« Restoring natural capital: definitions and rationale ». *In* : Aronson J., Milton S., Blignaut J. (eds) : *Restoring natural capital. Science, business and practice*. Island Press. Washington D.C. : 3-8.

Aronson J., Blignaut J., Milton S., Clewell A., Woodworth P., Lowry II P., Tongway D., de Wit M., Farley J., de Groot R., Cowling R., Renison D., Rangel-Ch. O., Debrincat B., Birkinshaw C., Levy-Tacher S., 2007b
Restoring natural capital: bridging the three great divides. SAPIENS (Survey and Perspectives Integrating Environment and Society).

Asity Madagascar, 2009
Plan d'aménagement et de gestion du Complexe des zones humides de Mahavavy-Kinkony, Région Boeny. Comm pers., Asity Madagascar, Antananarivo, 51 p.

Asity Madagascar, 2015
Plan d'aménagement et de gestion du Complexe des zones humides de Mahavavy-Kinkony, Région Boeny. Asity Madagascar, Antananarivo, 79 p.

Biodev, 2014
Établissement de la situation de référence du site Managed Resources Protected Areas (MRPA) en valeurs de la biodiversité et écologique, culturelle, sociale et économique. Cas du site Mahavavy-Kinkony. Rapport. MRPA, 211 p.

Chave J., Réjou-Méchain M., Burquez A., 2014
Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20 (10) : 3177-3190. DOI: 10.1111/gcb.12629

Dudley N., 2008
ignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées. UICN. Gland, 96 p.

Grinand C., Rajaonarivo A., Bernoux M., Pajot V., Brossard M., Razafimbelo T., Albrecht A., Le Martret H., 2009
Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar. *Étude et gestion des sols*, 16 (1). 23-33.

Humbert H., 1965
« Description des types de végétation ». *In* Humbert H., Cours D. : *Carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques*, Trav. Sect. Sc. Tech., Institut français de Pondichéry, Paris, 6 : 46-78.

Ionescu C., Gnidula E., Le Mieux A., Lapeyre R., Maudinet A., 2019
Natural capital and organizations strategies: an overview of available tools. World Wild Fund, Paris, 74 p. https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/191220__wwf_fr___natural_capital_tools_overview__english_.pdf

Jaeger J., 2000
Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape ecology*, 15 (2) : 115-130.

Kamada B., Angu K., Nguinguiri J. C., 2003
"The social value of the Nyangkpe sacred forests of south west province of Cameroon". *In The full value of parks: from economics to the intangible*, Rowman and Littlefield publishers, Inc, Oxford : 77-89.

Leadley P. W., Krug C. B., Alkemade R., Pereira H. M., Sumaila U. R., Walpole M., Marques A., Newbold T., Teh L. S. L, Van Kolck J., Bellard C., Januchowski-Hartley S. R., Mumby P. J., 2014
Progress towards the Aichi Biodiversity targets: an assessment of biodiversity trends, policy scenarios and key actions. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series, 78, 500 p.

McNeill C., Shei P., 2002
A framework for action on biodiversity and ecosystem management. Colloque World summit on sustainable development, Water-Energy-Health-Biodiversity working group, United Nations, 26/08/2002-04/09/2002, Johannesburg.

Rajeriarison C., Faramalala M. H., 1999
Nomenclature des formations végétales de Madagascar. Angap, Antananarivo, 42 p.

Rambaud A., Richard J., 2015
The "triple depreciation line" instead of the "triple bottom line": towards a genuine integrated reporting. *Critical Perspectives on Accounting*, 33 : 92-116.

TEEB, 2010
L'économie des écosystèmes et de la biodiversité : intégration de l'économie de la nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB.

United Nations, 2012
System of environmental-economic accounting 2012. Experimental ecosystem accounting. UNO, 177 p.

Weber J.-L., 2014
Ecosystem natural capital accounts: a quick start package. Technical Series, 77, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, 248 p.

Chapitre 48

Genèse et bilan du programme Sud Expert Plantes (2006-2012)

Eric Chenin
IRD, France

Jean-Patrick Le Duc
MNHN, France

Maïté Delmas
MNHN, France

Kouami Kokou
Université de Lomé, Togo

Claudine Ramiarison
CIDST-Mesupres, Madagascar

Noëline Raondry Rakotoarisoa
Unesco, France

Bonaventure Sonke
Université Yaoundé 1, Cameroun

Lors du Sommet de la Terre à Rio en 1992, les experts ont relevé que les menaces sur les espèces et les écosystèmes n'ont jamais été aussi graves. La Convention sur la diversité biologique (CDB) a été adoptée lors de ce sommet, consacrant la préservation de la biodiversité comme un enjeu essentiel du développement durable. Dès son entrée en vigueur, la CDB a élaboré sept programmes d'actions et plusieurs programmes transversaux dont l'un intitulé « Stratégie mondiale de la conservation des plantes » (SMCP), adopté en 2002. C'est dans le cadre de ce programme SMCP que s'est inscrite la construction du programme « Sud Expert Plantes » (SEP) puis de SEP Développement Durable (SEP2D).

Lors du Sommet de la Terre à Johannesburg en 2002, où M. Jacques Chirac, président de la République française, a lancé son célèbre « Notre maison brûle et nous regardons ailleurs… », il est clairement apparu que les pays du Sud, les plus riches en espèces et en écosystèmes, éprouvaient d'importantes difficultés pour défendre leur biodiversité. Ainsi, à l'issue de ce sommet, le ministère français des Affaires étrangères et européennes (MAEE) a décidé de lancer une initiative visant « à aider les pays du Sud à mieux gérer leur biodiversité et à mieux défendre leurs intérêts dans les négociations internationales ». Cette initiative, financée par le Fonds de solidarité prioritaire (FSP) du MAEE, avait pour objectif de « renforcer les capacités scientifiques au Sud et de rapprocher les scientifiques des décideurs et des acteurs ». La conception, confiée à Alain

Leplaideur, chercheur du Cirad détaché au MAEE, s'est appuyée sur un réseau d'une vingtaine d'experts français (IRD, MNHN, Cirad, université Paris VI, CNRS) qui ont travaillé ensemble à l'orientation générale de l'initiative.

La réflexion s'est assez vite focalisée sur le règne végétal, pour quatre raisons essentielles : (1) son rôle primordial dans les écosystèmes et les réseaux trophiques ; (2) son importance pour l'alimentation humaine et l'économie ; (3) la cohérence et la relative homogénéité du règne végétal comparé au règne animal ; et (4) la cohésion de la communauté des botanistes. Le programme a d'emblée été considéré sous deux angles complémentaires : la préservation de la biodiversité et le développement de capacités au Sud. Par ailleurs, la valorisation de la biodiversité végétale a été intégrée dans la réflexion sur sa préservation. L'objectif du programme était ainsi précisé : « […] renforcer la capacité scientifique des pays du Sud à connaître, préserver et valoriser durablement leur biodiversité végétale ». Les pays cibles ont été identifiés : ce seront tous les pays de la zone de solidarité prioritaire, sauf le Suriname – jugé trop isolé des autres pays –, soit 22 pays d'Afrique de l'Ouest et centrale, de l'océan Indien et d'Asie du Sud-Est.

Grâce aux collaborations de long terme au Sud menées par l'IRD, le MNHN et le Cirad, un groupe de spécialistes associant des représentants de chacun des 22 pays a également été identifié et impliqué dans la conception détaillée du programme. Le texte décrivant l'initiative a ainsi été élaboré collectivement par les experts français et du Sud, au travers d'échanges à distance et de missions de concertations régionales qui ont donné lieu, fin 2003, à un programme finalisé et chiffré, avec trois composantes : formation et séminaire, appui aux collections et aux réseaux, et recherche.

L'animation sera assurée par un conseil scientifique, un comité de pilotage, et quatre commissions régionales. Il est prévu d'inscrire l'initiative dans le contexte international en associant l'organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco) pour la formation et le Global Biodiversity Information Facility (GBIF) pour les collections.

En juillet 2004, le programme est approuvé par le comité interministériel français : projet FSP n° 2004-33, intitulé « Appui aux expertises scientifiques en biologie végétale dans les pays francophones de la ZSP[1]. Initiative Sud Expert Plantes ». Sa conduite sera confiée à l'IRD, avec un financement de 3,2 M€ sur 4 ans. En janvier 2005, la conférence internationale « Gouvernance et biodiversité » à Paris conforte l'importance du programme : les experts apportent en effet des preuves de l'accélération de la dégradation subie par la biodiversité (disparition d'espèces, mise en danger des écosystèmes, etc.) et ils appellent à une action internationale déterminée. C'est ainsi qu'est organisé le comité de lancement de SEP en juillet 2006, puis la signature le 30 août 2006 de la lettre de commande à l'IRD par le MAEE.

1 Zone de solidarité prioritaire du ministère français des Affaires étrangères

Le programme Sud Expert Plantes

Les activités ont été initiées dès septembre 2006 avec le recrutement de quatre coordinateurs régionaux et la tenue des premières réunions du conseil scientifique et du comité de pilotage. Les termes de référence des appels à projets pour les composantes « appui » et « recherche » ont été validés ; 350 K€ sont alloués à l'insertion des collections dans le GBIF. Les appels à projets sont lancés en novembre 2006, des questionnaires sont diffusés pour la formation et les séminaires, un comité pédagogique est mis en place, et le secrétariat du GBIF a préparé un plan d'action conjoint entre SEP et sa propre initiative au Sud Cepdec, dotée de 400 K€ par la coopération danoise.

Le programme SEP a été conçu comme un cadre doté d'un financement important mis à la disposition des scientifiques des 22 pays cibles pour leur recherche, leur formation et leurs collections. Le premier critère de sélection des projets et des actions a été la qualité scientifique, sans discrimination entre pays, entre disciplines du végétal, ni entre science fondamentale ou appliquée. Les autres critères ont été l'importance des enjeux couverts en termes de biodiversité, l'interdisciplinarité, la dynamique Sud-Sud régionale et inter-régionale, et l'inscription dans le cadre international. L'implication des sciences sociales a été encouragée. Par ailleurs, en matière de biodiversité, à côté du végétal terrestre, les champignons et les algues ont également été pris en considération.

Cent-quarante réponses ont été reçues pour la première étape des appels à projets, soumises par 110 porteurs originaires de 80 institutions dans 20 pays. Puis, 86 réponses ont été reçues dans une seconde étape, à l'issue de laquelle, en juin 2007, 49 projets ont été sélectionnés par le comité de pilotage après analyse et proposition du conseil scientifique. En outre, le programme conjoint SEP-Cepdec du GBIF, couvrant les 22 pays cibles, est adopté. Début 2008, tous les projets de recherche et d'appui aux collections ont démarré.

Au-delà des critères indiqués ci-dessus, les projets ont été sélectionnés avec une volonté d'équilibre entre les régions, les pays, les biomes et les disciplines. Par ailleurs, la synergie était encouragée entre la recherche, l'appui aux collections, l'alimentation, ainsi que l'utilisation des données du GBIF. Les disciplines – de la systématique à l'ethnobotanique, en passant par la phylogénie, l'écologie, la phytogéographie, l'architecture des plantes, ou encore les descriptions informatisées d'espèces –, étaient représentées de manière aussi équilibrée que possible dans les projets de recherche. Au bilan, seize pays ont obtenu la conduite d'un ou plusieurs projets, parmi lesquels certains mieux représentés, comme Madagascar (neuf projets) et le Cameroun (cinq projets). Sur les 49 projets financés, cinq étaient à dimension régionale et deux inter-régionale. Par ailleurs, les six pays n'ayant pas obtenu la conduite d'un projet ont été impliqués en tant que partenaires de certains des 49 projets financés.

L'implication des sciences sociales, pourtant encouragée dans l'appel à projets de recherche, est restée faible, peut-être du fait d'un déficit d'information du programme SEP auprès de la communauté concernée. Un seul projet de recherche mobilisant fortement les sciences sociales a pu être retenu. Celui-ci a toutefois dû être interrompu en raison d'un manque de résultats et de perspectives.

Encadré 1
Hommage à Jean-Noël Labat (1959-2011)

Jean-Noël Labat, l'un des piliers du programme SEP.

Sud Expert Plantes n'aurait pas eu la même envergure sans Jean-Noël Labat, qui a joué un rôle crucial dans la conception et la mise en œuvre du programme SEP, comme dans l'élaboration de SEP2D.

Jean-Noël Labat était professeur au MNHN, responsable scientifique de l'herbier national et vice-président du conseil scientifique du MNHN.

Botaniste systématicien de renom, il a découvert la systématique au cours des années 1980, en étudiant les chênes du Mexique. Il est recruté en 1989 au MNHN en tant que maître de conférences. Responsable de l'équipe de botanique en 2002, nommé professeur en 2005, il a ensuite pris la charge de responsable scientifique des collections botaniques, incluant l'herbier national, en 2008. On lui doit la mise en place de la base de données « Sonnerat », consacrée à l'informatisation des collections de l'herbier du MNHN. Cet outil remarquable a permis la mise en ligne de 6 millions de spécimens à travers la grande rénovation de cet herbier (2008-2012).

Jean-Noël Labat a beaucoup travaillé dans les îles de l'océan Indien, en particulier à Madagascar et aux Comores, mais également en Nouvelle-Calédonie. Il a collaboré avec de nombreux chercheurs français et étrangers, a décrit près d'une centaine de nouvelles espèces et de nouveaux genres et a participé au grand ouvrage *Leguminosae of Madagascar* du Royal Botanic Gardens, Kew (Grande-Bretagne). Il a, grâce à ses activités de terrain et à son implication dans les collections, redynamisé les relations entre systématiciens et spécialistes de l'écologie et de la conservation de la biodiversité.

Jean-Noël Labat aura été un personnage très influent du monde de la botanique, comme en témoigne la plantation d'un arbre au Jardin des Plantes de Paris, la stèle érigée en son honneur au parc botanique et zoologique de Tsimbazaza à Antananarivo et l'hommage qui lui est rendu dans l'herbier national des Comores, qui porte son nom.

La passion de Jean-Noël Labat pour la botanique tropicale et son goût pour la coopération avec la communauté botanique du Sud faisaient de lui un avocat naturel de la cause de Sud Expert Plantes auprès des décideurs et des partenaires. Son appréhension globale des enjeux afférents, sa compréhension du potentiel des nouvelles technologies et son ouverture interdisciplinaire ont fait de lui un guide engagé et éclairé dans la conception du programme. Acteur clé de la phase d'élaboration de Sud Expert Plantes, Jean-Noël Labat a ensuite été, au sein du conseil scientifique, l'un des principaux animateurs du programme. Sa vision aura amplement orienté la mise en œuvre de cette initiative.

C'est au retour de la conférence de 2010 de l'AETFAT, à Madagascar, que les premières alertes ont abouti au diagnostic de son cancer. Hospitalisé, il a continué à se préoccuper du bon déroulement des actions de Sud Expert Plantes, appelant encore, depuis son lit d'hôpital, quelques jours avant la fin, pour s'enquérir de sujets de stage pour les étudiants du master Sud-Nord que SEP a permis de créer.

Concluons avec le témoignage ci-dessous, qui figure parmi les nombreux hommages à Jean-Noël Labat déposés sur le site web du programme : http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/actualites/JNL

« Jean-Noël avait été l'un des inspirateurs et des acteurs les plus engagés, depuis fin 2002, dans la conception de l'initiative SEP. Et il a ensuite très largement contribué à son animation et à son succès. Malgré ses soucis de santé, Jean-Noël est resté jusqu'au bout très attentif et disponible pour SEP et pour les botanistes du Sud. Jean-Noël laissera dans SEP un vide que nous ne pourrons combler. Mais sa mémoire nous accompagnera dans la prochaine phase qu'il avait déjà contribué à esquisser. »

Eric Chenin, secrétaire exécutif SEP-IRD, AIRD.

Les années 2008 à 2011 ont été ainsi consacrées à la mise en œuvre des 49 projets de recherche et d'appui aux collections, ainsi que du programme SEP-Cepdec du GBIF. Un appui fort a par ailleurs été apporté aux réseaux de botanistes, au travers d'actions de formation d'enseignants, d'ateliers[2], de séminaires[3], de conférences internationales[4], et de soutien à la participation des scientifiques aux grands rendez-vous internationaux sur la biodiversité (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, Cites, Union internationale pour la conservation de la nature, UICN, Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques, SBSSTA et la Conférence des Parties, COP, de la CDB).

2 Échange d'expérience entre herbiers, constitution du réseau d'experts Carla avec l'UICN, etc.

3 Séminaires de formation pour les enseignants, ateliers régionaux de formation technique à la gestion et à la numérisation des collections, séminaires nationaux et régionaux de sensibilisation et de formation aux outils du GBIF, etc.

4 Conférence de l'Association pour l'étude taxonomique de la flore d'Afrique tropicale (AETFAT) 2007 à Yaoundé, AETFAT 2010 à Antananarivo, Symposium sur la flore du Cambodge, du Laos et du Vietnam en 2008 à Phnom Penh, etc.

Un master international Sud-Nord en biodiversité végétale a été lancé à la rentrée 2009, qui a ensuite inspiré et étendu au Sud le master Erasmus Mundus TropiMundo. Le cursus alterne toujours actuellement des semestres de cours au Sud intégrant une école de terrain (Cameroun et Sénégal) et des semestres au Nord (Paris et Bruxelles). Les promotions sont mixtes Sud-Nord, les enseignements du Sud et du Nord sont considérés d'égale importance, et les crédits acquis au Sud sont acceptés par les établissements du Nord pour délivrer leur diplôme. Au cours des trois premières promotions, 42 étudiants du Sud ont été diplômés.

Réalisations et résultats clés de SEP

Le programme SEP a œuvré pour le développement durable des capacités scientifiques du Sud :

– en agissant conjointement dans plusieurs domaines : formation, recherche, appui (collections et réseaux) et séminaires (conférences scientifiques et séminaires liés à la CDB et à sa mise en œuvre) ;

– en privilégiant, par des appels à projets, la qualité scientifique, la coopération Sud-Sud, les opérations interdisciplinaires, et les priorités exprimées par les scientifiques du Sud ;

– en s'appuyant sur l'existant : institutions, programmes connexes en cours ;

– en impliquant les grandes structures internationales pérennes : Unesco, GBIF, Agence universitaire de la francophonie (AUF) ;

– et en visant la mise en place et le renforcement de dispositifs structurants, opérationnels et pérennes, aux échelles nationales, régionales et inter-régionales.

Les résultats clés sont les suivants (encadré 2) :

– **réseaux :** mise en place ou renforcement des réseaux nationaux de données sur la biodiversité autour des points nodaux GBIF ; renforcement des réseaux régionaux de botanistes d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale ; extension aux Comores du réseau malgache ; création d'un réseau régional d'experts sur le statut UICN des plantes d'Afrique centrale ;

– **conférences et séminaires :** création d'une conférence internationale bisannuelle en Asie ; soutien à l'organisation et à la participation francophone lors des sessions de la conférence trisannuelle AETFAT à Yaoundé (2007) et Antananarivo (2010) ; participation de neuf botanistes aux rendez-vous internationaux de la CDB ;

– **formation :** création d'un cursus de master international Sud-Nord étendant au Sud, pour la botanique, le dispositif Erasmus d'échange d'étudiants et de crédits d'enseignement ; 42 étudiants du Sud formés dans les trois premières promotions ; formation continue de 43 enseignants-chercheurs issus de quinze pays, et de 195 professionnels issus de 22 pays ;

– **herbiers :** création de quatre herbiers nationaux (Cambodge, Comores, Laos et Mauritanie) ; modernisation de onze herbiers et jardins botaniques ; numérisation d'un tiers des collections (sur un total de 660 000 spécimens) ;

– **recherche :** production de 98 publications, dont 36 dans des revues indexées à l'Institute for Scientific Information (ISI), dont neuf avec un facteur d'impact supérieur à 2, et deux avec un facteur d'impact de 3,889.

Globalement, le programme SEP a revitalisé et structuré en réseau la communauté scientifique du végétal au Sud et a modernisé ses outils. La reconnaissance internationale du programme est attestée notamment par le fait qu'il a été cité en séance plénière, lors de la COP 10 à Nagoya, comme un « modèle de co-développement et de collaboration Sud-Sud ». Le retour positif et les nombreux acquis ont conduit le MAEE à susciter et accompagner le montage d'une nouvelle phase.

Réflexions préparatoires à une suite du programme SEP

Dès mars 2009, sur la proposition du conseil scientifique, le comité de pilotage mandate le secrétariat exécutif pour organiser une réflexion destinée à préparer une suite au programme SEP. Un groupe de travail composé des membres du conseil scientifique est mis en place et se réunit en juillet 2009. Dès cette première réunion, les grandes orientations sont proposées : après une première phase consacrée à renforcer les fondements de la recherche botanique du Sud, la nouvelle phase devra valoriser et consolider les acquis, mais surtout travailler sur l'interface entre recherche et action, en particulier à travers les activités industrielles.

Les commissions régionales se mobilisent alors pour préciser les priorités de cette nouvelle phase et les partager avec le secrétariat exécutif. Des contacts sont pris avec des partenaires internationaux susceptibles de s'impliquer dans la prochaine phase : notamment Bioversity International, le Consortium for the Barcoding of Life, Conservation International, l'UICN, les jardins botaniques de France et des pays francophones et Botanic Gardens Conservation International. La direction des relations internationales du MNHN est particulièrement active dans la mobilisation des partenaires internationaux.

En plus des travaux menés par le groupe de travail et les commissions régionales pour une suite à apporter au programme SEP, les réflexions ont été enrichies et valorisées à l'occasion de plusieurs événements organisés par SEP en 2010, notamment un séminaire en marge de l'AETFAT (Antananarivo) fin avril, une manifestation en marge de la COP de la CDB (Nagoya) en octobre, deux réunions partenaires-bailleurs en novembre (MNHN et Quai d'Orsay).

Encadré 2
Les principaux résultats chiffrés du programme SEP

Formation

– Formation de formateurs : 43 formateurs de quinze pays formés dans les disciplines fondamentales de la biodiversité végétale.

– Formation technique : 195 professionnels de 22 pays formés aux techniques d'inventaire, de gestion et numérisation de collection, et d'exploitation des données primaires sur la biodiversité.

– Formation diplômante : un master international créé en biodiversité végétale tropicale, avec des semestres alternés Nord-Sud, qui valorise des enseignements préexistants au Nord et au Sud. Ces cursus débouchent sur un diplôme de niveau international et forment des spécialistes : futurs enseignants-chercheurs, futurs professionnels de la gestion, conservation et valorisation de la biodiversité. Au bilan, 42 étudiants du Sud sont formés dans les trois premières promotions.

Séminaires et conférences

– Une nouvelle conférence internationale créée en Asie sur la flore de l'Asie du Sud-Est continentale, avec deux sessions (Phnom Penh 2008 et Hanoï 2010) qui ont accueilli chacune environ 300 participants.

– Un réseau régional d'experts (Carla, Central African Red List Authority) qui évalue le statut UICN des plantes d'Afrique centrale.

– L'appui et le renforcement de la participation francophone à deux sessions de la conférence AETFAT (2007 à Yaoundé et 2010 à Antananarivo).

– Participation de trois botanistes à l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologique (OSASTT) à Paris en 2007 et de six botanistes à la COP 10 à Nagoya en 2010, au sein de leurs délégations nationales respectives.

Appui aux collections et au déploiement du GBIF au Sud

– Une forte reconnaissance et un partenariat solide avec le GBIF : le programme SEP a contribué à déployer le GBIF au Sud et à organiser les réseaux nationaux sur la biodiversité.

– Quatre herbiers nationaux créés : au Cambodge, aux Comores, au Laos et en Mauritanie.

– Rapprochement des deux grands herbiers de Madagascar, qui ont pour la première fois collaboré durant plusieurs années dans un même projet commun de modernisation.

– Rapatriement physique de plusieurs centaines de doubles de spécimens du MNHN vers les herbiers du Laos, du Cambodge et du Vietnam : cette opération extrêmement rare a été réalisée par des botanistes de ces trois pays qui ont passé ensemble plus d'un mois au MNHN à étudier les collections issues de leur pays et à identifier les spécimens dont des doubles pouvaient être prélevés, puis à conditionner et rapatrier ces doubles.

– Extension du plus grand jardin botanique de Madagascar, pour accueillir une collection spécifique consacrée aux plantes médicinales.

– Renforcement et modernisation du jardin botanique de Lomé.

– Renforcement et modernisation de quatorze collections d'herbiers.

– Numérisation d'un tiers (190 000 spécimens) des collections soutenues (total de 664 000 spécimens), contribuant fortement à en faire des outils opérationnels, pour la recherche et pour l'expertise, au service de la conservation et de la valorisation durable de la biodiversité, de la décision en matière d'aménagement, et de l'évaluation du changement climatique et de son impact sur la biodiversité.

– Enrichissement des collections de nombreux herbiers grâce aux spécimens collectés dans le cadre des projets de recherche.

– Rédaction de divers rapports, publications et posters.

– Organisation de nombreuses sessions de formation, d'actions de sensibilisation du public aux enjeux de la biodiversité et des collections, d'actions de communication, y compris via les médias écrits et audiovisuels.

Recherche

– Résultats scientifiques probants, obtenus par des consortiums qui ont acquis une expérience du montage et de la conduite de projets de dimension nationale, régionale et internationale.

– Collecte de plus de 35 000 spécimens qui ont enrichi les collections d'herbiers.

– Encadrement de nombreux stages de techniciens, d'ingénieurs, d'étudiants de master.

– Encadrement de nombreuses thèses.

– Rédaction de nombreux rapports, d'ouvrages et chapitres d'ouvrages.

– Actions, articles et émissions de vulgarisation.

– Réalisation de plusieurs cartes CD-Rom et sites web.

– Nombreuses communications dans des conférences scientifiques.

– Nombreux posters.

– Très nombreuses publications dans des revues scientifiques à comité de lecture : 98 articles, dont 36 dans des revues indexées à l'ISI, (quinze avec un facteur d'impact supérieur à 1 ; neuf avec un facteur d'impact supérieur à 2 et deux avec un facteur d'impact de 3,889).

Globalement : une communauté scientifique revitalisée, aux compétences et aux outils renforcés, structurée en réseaux régionaux, avec une synergie interrégionale stimulante entre l'Afrique, l'Asie et l'océan Indien.

Cette action s'est poursuivie durant le premier semestre 2011, sous l'égide du MAEE qui a joué un rôle moteur et a sollicité des bailleurs potentiels forts comme l'Agence française de développement (AFD) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM). Le travail s'effectue alors en concertation

étroite avec tous les contacts scientifiques et institutionnels de SEP au Sud, en France et ailleurs (de nombreuses universités et institutions de recherche en Europe et aux États-Unis déjà impliquées dans plusieurs projets SEP participent à la réflexion sur la suite).

Durant les années 2011 et 2012, de très nombreuses itérations ont lieu pour préciser le projet, des contacts sont établis avec un certain nombre d'entreprises et d'organismes fédérateurs du privé pour étoffer le nouveau volet consacré à l'interface recherche-action. Des entreprises impactant la biodiversité sont approchées comme les miniers Eramet et Areva, ou exploitant la biodiversité, comme les entreprises cosmétiques fédérées par Cosmetic Valley ou les entreprises pharmaceutiques comme Fabre. Le groupement d'intérêt public « Écosystèmes forestiers » (GIP Ecofor) aide à contacter les exploitants forestiers, et Bioversity International aide à travailler sur le secteur de l'agrobiodiversité, y compris avec le réseau des centres de CGIAR.

En juin 2012, un séminaire de cinq jours est organisé à Paris pour finaliser la construction du programme, qui réunit une cinquantaine de participants des quatre régions du Sud et du Nord. Il est organisé sous forme de travaux en groupes autour de quatre domaines : (1) forêt/REDD+[5] ; (2) mines[6] ; (3) cosmétique et pharmacie ; et (4) agrobiodiversité. Commencé par une concertation Sud-Sud de trois journées accueillies à l'Unesco par Noëline Raondry, botaniste malgache et directrice du programme Man and Biosphere, il est terminé par de deux journées de concertation Sud-Nord accueillies à l'AFD.

Fin 2012, à l'issue de toutes ces réflexions, le futur programme SEP2D est élaboré sur les bases suivantes :

Le programme SEP2D, comme SEP, devra servir un **double objectif de préservation de la biodiversité et de développement**, et se consacrer aux capacités scientifiques du Sud en biodiversité végétale. L'approche spécifique de SEP avait consisté à réunir une communauté scientifique autour d'un thème central (le végétal) et à lui donner les moyens de se **redynamiser en menant en réseau plusieurs activités complémentaires**. La nouvelle phase ajoutera une composante centrée sur **l'interface recherche/action**, qui **mobilise les scientifiques sur des problèmes concrets de conservation et de valorisation** durable des plantes, dans le cadre d'opérations « pilotes » en partenariat entre scientifiques et acteurs, avec un accent particulier sur les partenariats public-privé. Le lien entre recherche et action se fera autour de quatre thèmes : (1) forêt/REDD+ ; (2) mines ; (3) cosmétique et pharmacie ; et (4) agrobiodiversité.

Un autre aspect important de SEP2D concernera l'application des principes de la CDB ainsi que de la SMCP ses cinq ambitions pour la diversité végétale : « celle-ci est connue, documentée et reconnue, conservée ou favorisée, utilisée

5 Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des sols (REDD) ; le « + » de « REDD+ » est l'aspect qui intéresse SEP2D : il ajoute en effet aux programmes REDD un volet de préservation de la biodiversité et de respect des communautés locales.

6 Il s'agit plus précisément de l'atténuation de l'impact des activités minières.

de façon durable et équitable, l'éducation et sensibilisation sont favorisées et les capacités et l'engagement du public sont en place pour mettre en œuvre la Stratégie ». De nombreuses activités du programme permettront de relayer les principes de l'Accès et du partage des avantages résultant de l'utilisation de la diversité génétique (APA) et de sensibiliser et former les équipes impliquées. Ces activités viseront à aider les pays, les scientifiques et les acteurs à s'approprier ces principes. Les opérations pilotes, quant à elles, permettront une mise en œuvre locale des principes de l'APA et la formulation d'éventuelles propositions d'amendements lors des prochains rendez-vous de la CDB.

Pour cela, le programme SEP2D comprendra un ensemble d'activités complémentaires, dans les catégories suivantes.

– **Opérations pilotes :** centrées sur **l'interface recherche/action**. Ces opérations réuniront des scientifiques du Sud et du Nord avec des acteurs locaux et internationaux, en privilégiant les entreprises[7] qui utilisent la biodiversité ou ont un impact sur elle. Ces opérations : (1) seront construites à partir des besoins des acteurs ; (2) devront produire des résultats opérationnels pour ces derniers ; (3) ainsi que de la connaissance sous forme de publications scientifiques et de nouveaux modules de formation. Ces opérations seront cofinancées par SEP2D et des fonds additionnels apportés par les partenaires industriels ou autres acteurs.

– **Projets de recherche :** ceux-ci seront dédiés aux plantes et s'intéresseront aux quatre thèmes retenus ainsi qu'aux savoirs traditionnels associés. L'implication des sciences humaines sera encouragée, notamment sur les questions et concepts clés sous-jacents au droit et à l'économie de la biodiversité.

– **Appui aux collections :** ces projets seront consacrés aux herbiers, aux collections vivantes des jardins botaniques et aux banques de gènes. Pour les herbiers, SEP2D se focalisera sur leur informatisation, visant à achever l'effort de numérisation initié par la première phase du programme SEP, qui a déjà permis de numériser un tiers d'un total de 660 000 spécimens dans seize herbiers.

– **GBIF :** l'appui à la participation efficace des pays du Sud dans le GBIF, initié par le programme SEP, sera aussi poursuivi. Par ailleurs, SEP2D œuvrera pour l'extension du portail GBIF aux données d'abondance, précieuses pour les calculs des stocks de carbone utilisés dans les questions de changement climatique.

– **Formation :** des formations techniques seront mises en œuvre : gestion et numérisation des collections, GBIF, conservation et valorisation durable de la biodiversité, principes et procédures de la CDB, etc. Des formations académiques seront également soutenues : cursus universitaires du Sud et le cursus international Sud-Sud et Sud-Nord mis en place dans le cadre du programme SEP.

7 En plus des entreprises, d'autres acteurs (ONG, agences publiques, etc.) pourront être considérés.

– **Conférences et ateliers :** appui à la participation des botanistes du Sud à des conférences scientifiques et organisation de conférences et ateliers. Ces derniers seront l'occasion de partager les expériences et résultats des projets, ainsi que de réfléchir aux questions liées à la CDB. Ces réflexions, en s'appuyant sur les cas concrets des opérations pilotes, aideront : (1) à la mise en œuvre pratique des textes internationaux dans le contexte national et (2) à proposer des amendements lors des prochains grands rendez-vous liés à la CDB (OSASTT, organe subsidiaire chargé de l'application, etc.).

Le programme devra s'inscrire clairement comme un des instruments susceptibles de contribuer à la mise en œuvre des vingt objectifs d'Aichi (Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020).

Instruction du programme SEP2D

Sur la base du bilan d'actions du programme SEP, les années 2012 à 2015 ont été consacrées à l'instruction du futur programme SEP2D, en particulier pour définir les budgets et les niveaux de financement des différents bailleurs. Des lettres d'intention (neuf) ont été obtenues de la part d'institutions françaises, d'organismes internationaux, et d'institutions et autorités du Sud. Malheureusement, toutes ne se traduiront pas par un financement concret du programme, ni même par une mise à disposition de ressources humaines.

Le processus d'instruction a été particulièrement long, complexifié notamment par les difficultés suivantes :

– le changement d'interlocuteurs dans les organismes obligeant à réexpliquer le programme ;

– le retard de l'évaluation du programme SEP, avec un changement de l'opérateur chargé de l'évaluation ;

– la réticence de plusieurs organismes à s'engager financièrement, en période d'incertitude budgétaire ;

– la difficile compatibilité des procédures administratives des différents bailleurs, ainsi que les divergences de calendrier de mise en place des financements.

Un groupe informel a été mis en place, comprenant des représentants du ministère des Affaires étrangères et du ministère de la Recherche, de l'IRD, du MNHN et de l'Unesco. Fin décembre 2013, le nouveau projet est finalisé dans ses grandes lignes mais des points restent à préciser pour tenir compte des remarques, parfois contradictoires, des différents financeurs. Le ministère des Affaires étrangères a joué un rôle crucial dans cette période de négociation et de finalisation.

En janvier 2014, seuls l'AFD et le FFEM ont exprimé leur accord de financement. L'IRD va les rejoindre rapidement, de même que le ministère des Affaires

étrangères qui toutefois ne participera pas directement au fonctionnement global, mais s'engagera à réserver des sommes fléchées sur les budgets des ambassades (en particulier les bourses pour étudiants). Le MNHN s'engage également, en avril 2014, sur un cofinancement incluant des prestations en nature. D'autres partenaires s'engagent à financer des actions déterminées ou vont finalement renoncer au financement global.

Une étude de faisabilité est finalisée en juin 2014 donnant lieu au texte du projet qui sera plusieurs fois revisité au cours de la procédure de soumission en trois étapes du FFEM et de l'AFD. Finalement, le démarrage du programme est retardé à 2015, dans l'attente de fonds suffisants des deux principaux bailleurs, le FFEM et l'AFD.

Un petit groupe de travail se consacre à trouver les ajustements répondant aux différentes préoccupations des bailleurs. Finalement, le contrat de mise en place du programme SEP2D est signé à l'occasion du VIIe congrès européen des jardins botaniques, le 6 juillet 2015, sous l'égide de l'ambassadeur à l'Environnement, Xavier Sticker par l'AFD, le FFEM, l'IRD et le MNHN.

Chapitre 49

Organisation et bilan du programme Sud Expert Plantes Développement durable (2015-2021)

Stéphanie Ardila-Chauvet
IRD, France

Serge Muller
MNHN, France

Maïté Delmas
MNHN, France

Philippe Grandcolas
MNHN, France

Jean-Pierre Profizi
IRD, France

Anshuman Singh Rana
IRD, France

Jean-Patrick Le Duc
Consultant international biodiversité, France

Faisant suite au programme Sud Expert Plantes (SEP) mis en œuvre de 2006 à 2012, le programme Sud Expert Plantes Développement Durable (SEP2D)[1], mené de 2015 à 2021, s'est inscrit dans une dynamique internationale d'appui et d'accompagnement des communautés scientifiques du Sud. La nécessité d'un tel programme avait été réaffirmée lors de la 10e Conférence des Parties de la Convention sur la diversité biologique (CDB) à Nagoya en 2010[2]. Cette convention prévoyait que d'ici 2020 « les connaissances, la base scientifique et les technologies associées à la diversité biologique, ses valeurs, son fonctionnement, son état et ses tendances, et les conséquences de son appauvrissement, soient améliorées, largement partagées, transférées et appliquées ».

Ainsi, le programme SEP2D, s'appuyant sur la stratégie mondiale pour la conservation des plantes[3], s'est attaché à renforcer les interactions et les partenariats en matière de biodiversité végétale entre recherche, enseignement et demandes de la société. Cet objectif s'est décliné à travers différentes actions : (1) en suscitant et soutenant

1 http://sep2d.org/

2 https://news.un.org/fr/story/2010/11/200132-lonu-salue-le-succes-historique-de-la-conference-de-nagoya-sur-la-biodiversite

3 https://www.cbd.int/gspc/

financièrement des projets de recherche dans le but de renforcer la connaissance, la gestion durable et la valorisation de la biodiversité végétale, dans un strict respect des conventions sur la diversité biologique et le changement climatique ; (2) en appuyant des initiatives de partenariats public-privé et le renforcement des formations professionnelles adaptées au marché de l'emploi de l'économie verte (acteurs publics, opérateurs privés et associatifs) ; (3) en contribuant au renforcement des capacités des acteurs œuvrant pour la biodiversité, à travers la mise en place d'ateliers ou le soutien à des formations existantes ; et (4) en favorisant l'implication des scientifiques des pays du Sud dans le conseil aux instances nationales et internationales.

Un programme axé sur la biodiversité des pays intertropicaux francophones

Le programme SEP2D a été officiellement lancé le 6 juillet 2015, sous l'égide de l'ambassadeur délégué à l'Environnement, Xavier Sticker, à l'occasion de la signature par l'Agence française de développement (AFD) et le Fonds français pour l'environnement mondial (FFEM) d'une convention confiant la mise en œuvre du programme à l'Institut de recherche pour le développement (IRD). Outre ces deux principaux bailleurs (AFD et FFEM), SEP2D a également été financé par le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN). Au même titre que le précédent programme SEP, le champ d'activités de SEP2D couvrait 22 pays francophones des régions intertropicales, d'Afrique de l'Ouest, d'Afrique centrale, de l'océan Indien et d'Asie du Sud-Est (fig. 2).

Une gouvernance partagée du programme SEP2D

La gouvernance du programme SEP2D s'est organisée autour d'un comité de pilotage (Copil), organe décisionnaire, et d'un conseil scientifique et pédagogique (CSP), organe de conseil et d'évaluation scientifique (fig. 1). Ces deux organes ont été instaurés avec le souci de respecter une parité Sud-Nord et de genre. Les évaluations scientifiques des projets reçus à l'occasion des appels à projets ont été assurées par quatre commissions thématiques (CT), constituées d'une dizaine d'experts chacune, et par le CSP qui a supervisé et arbitré ces évaluations.

La mise en œuvre et l'animation du programme ont été assurées par une équipe de dix personnes, réparties entre le secrétariat exécutif (SE) installé en France, et les points focaux régionaux (PFR), répartis dans les quatre régions couvertes par le programme.

Figure 1
La gouvernance du programme SEP2D.

Définition des priorités de financement du programme SEP2D

Le montage du programme SEP2D s'est fait suite à une longue phase de consultation et de réflexion, menée de 2012 à 2015, qui a permis d'établir les axes d'intervention. Toutefois, afin de définir plus précisément les priorités de financement en faveur de la recherche, des partenariats chercheurs-opérateurs, des collections botaniques ainsi que de la formation, l'année 2016 a été largement consacrée à la réalisation d'études préalables. Celles-ci visaient à faire un état des lieux des besoins sur ces quatre axes d'intervention, dans les 22 pays couverts par le programme SEP2D, afin de définir ensuite, au mieux, les termes de référence des appels à projets lancés par le programme SEP2D à partir de fin 2016.

Quatre études préalables ont été réalisées :

– une étude « Recherche » qui a consisté en l'identification des axes prioritaires de recherche à soutenir dans le cadre du programme SEP2D ;

– une identification des « Opérateurs de la biodiversité » au Sud, vers qui diffuser les appels à projets : entreprises privées, ONG, coopératives, etc. ;

– une étude « Collections botaniques » afin d'établir un bilan de l'état des collections d'herbier et des types d'actions à soutenir prioritairement pour leur valorisation ;

– une étude « Formation » qui visait à établir un bilan des formations existantes au Sud dans les domaines couverts par le programme SEP2D, ainsi qu'un recensement des besoins en formation.

Le soutien financier de 43 projets de recherche, partenariats, collections et formations

Dans le cadre de son soutien à la recherche académique, aux partenariats chercheurs-opérateurs, aux collections botaniques et à la formation, le programme SEP2D a lancé cinq appels à projets, fin 2016, début 2017 et mi-2020, suite aux quatre études préalables.

Le réseau SEP2D, très mobilisé autour de ces appels, y a massivement répondu, comme en témoigne le nombre très important de dossiers de candidature reçus : plus de 470 soumissions sur les cinq appels. Tout en illustrant le vif succès de l'initiative SEP2D, cette forte mobilisation a aussi souligné la regrettable disproportion entre les moyens disponibles pour ces appels et les attentes des partenaires du Sud en termes de financement. En effet, en dépit de la qualité de nombre de dossiers qui auraient mérité d'être financés, seuls 43 projets au total ont pu être soutenus[4] : onze projets de recherche académique, onze projets de recherche en partenariat, huit projets de collections botaniques, ainsi que treize formations de masters du Sud.

Au travers des quatre premiers appels à projets, en soutien à la recherche (académique et partenariale) et aux collections, six des 22 pays couverts par le programme SEP2D n'ont pas bénéficié de projets portés par une institution de leur pays[5]. Toutefois, en raison du nombre important de projets régionaux (dix projets sur trente), quatre de ces six pays (Burundi, Mauritanie, RDC et Tchad) ont eu des équipes qui participaient à des projets portés par des pays voisins.

Le dernier appel à projets a permis quant à lui de soutenir treize masters en Afrique et à Madagascar, notamment dans deux des six pays mal dotés lors des quatre précédents appels : la RDC et la RCA. Si bien qu'au total, à l'issue des cinq appels à projets et compte-tenu des équipes partenaires associées, seul un pays sur les 22 couverts par le programme n'a pas pu recevoir de soutien financier direct dans le cadre de SEP2D : le Mali[6].

4 http://www.sep2d.org/projets-soutenus

5 Burundi, Mali, Mauritanie, République centrafricaine (RCA), République démocratique du Congo (RDC), Tchad.

6 Pour prendre connaissance des projets de recherche et collections soutenus par le programme SEP2D, consulter la liste des projets soutenus en annexe de cet ouvrage. Des capsules vidéos de présentation (de trois minutes chacune), pour 24 des 30 projets, sont également accessibles à partir de ce lien : https://vimeo.com/channels/sep2d2021

Figure 2

Nombre de projets « Recherche » et « Collections » portés par pays (à gauche) et nombre de masters soutenus par pays (à droite).

Les équipes partenaires des projets ne sont pas représentées sur cette carte. À noter, les pays SEP2D n'ayant pas reçu de financement direct (en bleu sur cette carte) ont pour la plupart bénéficié de fonds SEP2D, au travers des partenariats mis en place par les porteurs de projet.

Des actions de formation, de partages d'expériences et des écoles de terrain

Outre le soutien financier apporté aux projets sélectionnés, une des ambitions du programme SEP2D était de permettre des rencontres entre partenaires, afin de partager les expériences acquises par tous. Ce partage devait apporter des compétences nouvelles face à l'évolution de la science, en lien avec la société et les activités de valorisation de la biodiversité végétale.

Ainsi, le programme a participé, co-organisé ou soutenu des activités de formation, de partages d'expériences ou des écoles de terrain, soit directement, soit sous la forme d'attribution de bourses d'invitation mises à sa disposition par les financeurs du programme.

Dans ce cadre s'est tenue à Paris (MNHN) et Bondy (IRD) en octobre 2017 **une école d'automne** autour des problématiques de la mise en œuvre concrète du protocole de Nagoya (APA) intitulée « Les conséquences de la mise en œuvre du protocole de Nagoya : quelles nouvelles pratiques et modalités de recherche et de partenariat ? »[7].

7 http://www.sep2d.org/actions-temps-forts/ecole-d-automne-apa

Un atelier « Biodiversité végétale : recherche et partenariats »[8] a été organisé les 10 et 11 février 2021. Il a rassemblé chercheurs et opérateurs, parties prenantes de la biodiversité végétale des pays intertropicaux, avec pour objectifs : (1) de donner des éléments clés des bonnes pratiques ; (2) de renforcer les capacités des acteurs à collaborer dans le cadre du protocole de Nagoya ; (3) de favoriser les synergies entre parties prenantes en vue de structurer des partenariats public-privé ; (4) d'identifier des intérêts communs entre opérateurs économiques et équipes de recherche autour de la gestion des données.

Plusieurs ateliers de renforcement des capacités au plaidoyer scientifique, à destination des négociateurs et scientifiques, ont été organisés afin que les enjeux spécifiques de biodiversité des pays du Sud soient mieux portés dans les conférences internationales et que leurs recommandations soient mieux appliquées dans ces pays. Ces ateliers ont pris la forme d'échanges d'expériences et de mises en relation entre scientifiques et négociateurs à l'occasion d'événements internationaux (COP-14 et IPBES-7), mais également de séminaires organisés à Madagascar, puis en ligne pour l'Afrique centrale et l'Afrique de l'Ouest.

Afin de pallier l'impossibilité d'assurer l'accompagnement auquel s'était engagé le programme SEP2D auprès des délégations nationales en vue de la COP-15, celle-ci ayant été reportée au-delà de la clôture du programme (en raison de la pandémie de Covid-19), une collaboration entre SEP2D, l'IRD et l'Institut de la francophonie pour le développement durable (IFDD) a été conclue en fin de programme. Cette collaboration vient ainsi compléter l'offre de consolidation du plaidoyer scientifique, dont les deux dernières actions (ateliers régionaux d'Afrique centrale et de l'Ouest) n'ont pu être menées qu'à distance. L'IFDD a ainsi été mandaté par SEP2D pour (1) produire une note de décryptage en amont de la COP-15 de la CDB à diffuser au sein du réseau SEP2D et (2) développer et animer un site web[9] faisant office de forum entre négociateurs et scientifiques, parties prenantes de la biodiversité végétale intertropicale.

Une formation en ligne sur la gestion des jardins botaniques a été développée[10], en collaboration avec le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), l'Association des jardins botaniques de France et des pays francophones (JBFF), le Centre de formation professionnelle de Chateaufarine (CFPPA) et le Botanical Gardens Conservation International (BGCI). Celle-ci sera accessible via la plateforme d'enseignement du MNHN (https://edu.mnhn.fr/), avec une première session qui débutera début 2022. Cette formation de 26 heures en tout, structurée autour de cinq modules s'adresse aux professionnels en charge des jardins botaniques, au travers de vidéos, de cours théoriques et d'exercices de mises en situation. Elle est notamment alimentée par des témoignages et

8 http://www.sep2d.org/actions-temps-forts/atelier-recheche-et-partenariats

9 Faire de la francophonie un vecteur de préservation de la biodiversité : présentation du cadre mondial et des efforts nationaux (https://ifdd.mycsg.africa/).

10 L'ouvrage du Botanical Garden Conservation International (BGCI), dédié à la gestion des jardins botaniques, a également enrichi cette formation. Cet ouvrage, initialement rédigé en anglais, a été traduit en français grâce au soutien financier de SEP2D.

des expériences venant des pays du Sud, qui illustrent les multiples missions des jardins botaniques (recherche, éducation, sensibilisation des publics). Un des objectifs de cette formation est également d'initier un réseau de jardins botaniques francophones du Sud, en renforçant les échanges professionnels avec l'association des JBFF et le BGCI.

Enfin, le programme SEP2D a collaboré à **l'élaboration du Mooc « Rédiger et publier un article scientifique** », en réponse aux besoins exprimés en 2016 de formations de nature transversale, comme le montage et la gestion de projet. Ce Mooc, porté par l'IIRD, a été réalisé de manière collaborative par les membres du Réseau d'excellence des sciences de l'ingénieur et de la francophonie (Rescif). La première session, organisée mi-2021, a remporté un franc succès avec plus de 17 000 personnes inscrites en provenance de 130 pays, parmi lesquelles 2 740 ont complété avec succès la phase d'évaluation en fin de formation.

Enfin, le programme SEP2D a également apporté son soutien à des **ateliers de formation, écoles d'été ou séminaires** organisés par ses partenaires, autour de différentes thématiques liées à la biodiversité végétale.

Activités de clôture : symposium, séminaire et ouvrage collectif

Après cinq ans de programme, SEP2D a souhaité rassembler les différents acteurs[11] impliqués dans l'étude, la conservation, la gestion et la valorisation durable de la biodiversité végétale des pays intertropicaux, autour de trois dernières actions : un symposium puis un séminaire international, ainsi que l'édition d'un ouvrage collectif de synthèse.

Le symposium « Biodiversité végétale et développement durable », initialement prévu en mars 2020 au Bénin, a dû être annulé en raison de la pandémie de Covid-19 ; il s'est tenu en ligne, en février 2021, permettant à un très large public d'y participer. Plus de 1 000 inscriptions en provenance de 45 pays ont été enregistrées, avec une audience approchant simultanément les 500 participants lors de certaines sessions. Cet événement, qui a donné lieu à 98 présentations et 64 posters, a abordé différents aspects de la biodiversité tropicale (connaissance, gestion et valorisation) autour de six sessions thématiques[12].

Ce symposium en ligne a été complété par un **séminaire de clôture** de deux jours en avril 2021 sur le sujet « Quels enjeux, quelles thématiques, quels besoins pour la biodiversité végétale intertropicale ? ». À l'instar du symposium, ce

11 Communauté scientifique, société civile, décideurs, opérateurs économiques de petite et moyenne taille, organisations non gouvernementales, ainsi qu'agences de développement régionales.

12 Pour visionner les présentations : http://www.sep2d.org/actions-temps-forts/symposium-en-ligne.

séminaire s'est également tenu en ligne, avec plus de 500 inscrits en provenance de 43 pays et une audience approchant simultanément les 300 participants lors de certains échanges. Cet événement était articulé autour de quatre tables rondes, réunissant chacune de cinq à huit partenaires (scientifiques et financeurs), afin de débattre : (1) des menaces pesant sur la biodiversité végétale ; (2) des actions du programme SEP2D ; (3) des enjeux de conservation de la biodiversité pour la décennie post-2020 ; et (4) des sources de financement en faveur de la gestion durable de la biodiversité[13].

Le programme SEP2D a enfin réalisé le présent **ouvrage de synthèse *Biodiversité des écosystèmes intertropicaux : connaissance, gestion durable et valorisation*** dont l'objectif est de publier et mettre en valeur les travaux de recherche menés par les partenaires du réseau SEP2D, porteurs de projets ou non, au travers de contributions originales relatives à la connaissance et la valorisation de la biodiversité (plantes et champignons) et des collections botaniques (herbiers et jardins botaniques), ainsi qu'à la gestion durable des écosystèmes.

Ce programme SEP2D mené sur six années a ainsi révélé les compétences, le dynamisme, l'enthousiasme et les potentialités des 3 000 acteurs des pays francophones du Sud qui s'y sont engagés. La démonstration ainsi réalisée de la faisabilité et de la pertinence d'une telle démarche de collaboration et de partenariat entre différents acteurs devrait permettre une mobilisation des financeurs pour la poursuite et l'extension de ce programme, et ce en parfaite adéquation avec le cadre post-2020 pour la biodiversité et la Décennie des Nations unies pour la restauration écologique.

Encadré 1
Bilan chiffré des principaux résultats du programme SEP2D

43 projets soutenus par le programme

– 11 projets de recherche scientifique, dont 3 régionaux.
– 11 projets de recherche-action en partenariat, dont 5 régionaux.
– 6 projets de soutien aux herbiers, dont 2 régionaux.
– 2 projets de soutien à des jardins botaniques (Guinée, Vietnam).
– 13 projets de renforcement de formations (master).

Impacts scientifiques et socio-économiques des projets soutenus

Renforcement des collaborations et établissement de réseaux

– 87 nouvelles collaborations instaurées.
– 101 institutions partenaires ont été mobilisées.
– 1 251 personnes ont participé aux projets.
– 2 552 membres de collectivités/communautés locales ont collaboré aux projets.

13 Pour visionner ces échanges, consulter : http://www.sep2d.org/actions-temps-forts/seminaire-de-cloture

Contribution à l'employabilité des participants

– 1 131 personnes formées à travers les projets SEP2D.
– 449 personnes recrutées spécifiquement pour les besoins des projets, dont 337 ont vu ensuite leur contrat prolongé ou ont été recrutées dans une autre équipe.
– 89 personnes formées (formation initiale ou renforcement de capacités) ont été recrutées par l'un des partenaires opérationnels suite à une collaboration mise en œuvre pendant le projet.

Production scientifique et académique (bilan de juin 2021)[14]

– 34 articles publiés dans des journaux scientifiques de rang A.
– 10 articles publiés dans des journaux non indexés.
– 15 articles publiés dans des ouvrages (hors SEP2D).
– 27 articles supplémentaires soumis pour publication.
– 26 thèses et 45 mémoires de master produits.
– 48 posters et 172 communications orales ont présenté les résultats de ces projets à l'occasion de congrès internationaux, nationaux et séminaires d'information.
– 24 capsules vidéos institutionnelles réalisées pour présenter les projets[15].

Exploration du potentiel de valorisation économique

– 329 usages de plantes identifiés.
– 57 nouveaux procédés identifiés.
– 140 produits issus de la recherche appliquée[16].
– 61 partenaires opérationnels mettant en œuvre les résultats de recherche appliquée.
– 133 cas de nouvelles pratiques de gestion et de valorisation de la biodiversité adoptées par des communautés villageoises, des ONG, des opérateurs privés, suite aux communications des résultats des projets.

Appui aux collections

– Plus de 71 000 échantillons d'herbier montés et plus de 112 000 échantillons d'herbier numérisés.
– Près de 90 000 données versées dans des bases de données, dont plus de 58 000 dans le GBIF.
– Plus de 30 000 échantillons déterminés.

Appui à la coopération scientifique internationale

– 14 projets menés en collaboration avec des équipes de recherche françaises.
– 10 projets de dimension régionale (associant au moins deux pays de la région).
– Près de 1 200 K€ attribués par SEP2D aux 30 projets et plus de 530 K€ mobilisés en co-financements.
– Près de 16 années d'études en équivalent « bourses de thèse » financées par SEP2D (et 7 années de thèses supplémentaires cofinancées par des partenaires).

[…]

14 Ce bilan de production scientifique sera amené à augmenter dans les mois et années à venir du fait du temps nécessaire à la publication des résultats scientifiques engrangés par les projets SEP2D.

15 Voir ces capsules vidéos :https://vimeo.com/channels/sep2d2021/videos/sort:preset/format:detail

16 Produits, services, expertise, images satellitaires traitées et acquises, comptes monétaires, ouvrages, banques de graines, plans de gestion et/ou d'aménagement, etc.

[…]

– Près de 22 années d'études en équivalent « stages de master » financées par SEP2D (et 6 années cofinancées en plus par des partenaires).
– 100 K€ acquis par les porteurs de projet pour donner suite à leurs activités après la fin du projet.

Formation

2 formations en ligne élaborées avec l'appui du programme

– Formation à la gestion des jardins botaniques.
– Formation à la rédaction scientifique.

Soutien aux équipements de masters

– 13 masters, répartis dans des établissements de 9 pays d'Afrique, ont bénéficié de l'achat de matériels d'enseignement, de recherche et/ou de terrain.

4 formations mises en place à destination des porteurs de projets SEP2D

– École d'automne APA (Paris, octobre 2017).
– Formation au « pitch scientifique » (distanciel, décembre 2019).
– Recherche et partenariat (distanciel, novembre 2020 à février 2021).
– Plaidoyer scientifique (novembre 2018, octobre 2019, mai-juin 2021).

9 ateliers de formation ou séminaires organisés par des partenaires (avec soutiens financiers SEP2D)

– Atelier FRB de dialogue pour l'établissement de structures nationales pour l'IPBES dans les pays d'Afrique francophone (Maroc, septembre 2016).
– Gestion des ressources génétiques en lien avec l'APA (Sénégal, décembre 2016 et septembre 2017).
– Mangroves en océan Indien (Madagascar, septembre 2017).
– Forêts sèches à Madagascar (septembre 2018).
– École APA (Laos, novembre 2018).
– Renforcement de capacités des délégations francophones (procédures) (7e plénière IPBES, Vincennes, avril 2019).
– Université d'été « Écosystèmes littoraux et développement durable » (Madagascar, août 2019 et novembre 2020).
– Atelier international « Mines orphelines » (Maroc, septembre 2019).
– Réseau du CHM et partage de données biodiversité (Belgique, octobre 2019).

Activités de plaidoyer scientifique

Participation aux conférences internationales

– COP-14 de la CDB à Charm el-Cheikh en novembre 2018.
– Réunion IPBES en septembre 2016 à Paris.

4 ateliers de formation au plaidoyer scientifique visant à renforcer ou initier l'établissement d'interfaces sciences-politiques-administrations

– En parallèle de la COP-14 de la CDB en 2018.
– À Madagascar, couvrant l'océan Indien et l'Afrique de l'Est en 2019.
– À distance, mobilisant scientifiques et négociateurs pour l'Afrique centrale et l'Afrique de l'Ouest en 2021.

Atelier francophone préparatoire à la 7e plénière de l'IPBES en collaboration avec la FRB et l'AFB

Collaboration avec l'IFDD pour le renforcement du dialogue science-administration

En amont de la COP-15 de la CDB.

Animation des dialogues science-société-administration-politique

– À l'occasion de la table-ronde clôturant le symposium en ligne.
– À l'occasion des quatre tables-rondes constituant le séminaire de clôture.

Valorisation du programme et du réseau SEP2D

10 communications sur le programme

– Cosmetic Valley (Chartres, France, décembre 2015).
– Side-event SBSTTA-19 (Montréal, Canada, avril 2016).
– Global Partnership for Plant Conservation (St-Louis, USA, Missouri Botanical Garden, juin 2016).
– Journées de la francophonie (Antananarivo, Madagascar, novembre 2016).
– CDB COP-13 (Cancún, Mexique, décembre 2016).
– 6e Congrès mondial des jardins botaniques (Genève, Suisse, juin 2017).
– 19e International Botanical Congress (Shenzen, Chine, juillet 2017).
– Les journées de Madagascar à l'Unesco et au MNHN (Paris, septembre 2018).
– CDB COP-14 (Charm el-Cheikh, Égypte, novembre 2018).
– Rencontre des PFN APA en parallèle de la réunion panafricaine de l'ABS Initiative (Afrique du Sud, septembre 2019).

Un symposium scientifique international[17]

Ce symposium en ligne (3-5 février 2021) a recueilli plus de 1 000 inscriptions de 45 pays, 98 présentations et 64 posters. Il s'est articulé autour de six sessions thématiques :
– Caractérisation de la flore : écologie – morphologie.
– Usages et valorisation des plantes : potentialités – diversité d'usages – pharmacopée.
– Collections botaniques : herbiers et jardins – usages des collections.
– Agrobiodiversité : caractérisations – pratiques culturales – usages des plantes
– Dynamiques des peuplements végétaux : structures des peuplements – dynamiques post-exploitation.
– Gestion durable : planifications et aménagements – bonnes pratiques.

Un séminaire international de clôture[18]

Cet événement en ligne (7-8 avril 2021) a recueilli plus de 500 inscrits de 43 pays. Il a mobilisé 25 panelistes, parties prenantes de la biodiversité végétale intertropicale, scientifiques, développeurs autour de quatre tables rondes (TR) :
– TR1 : Biodiversité végétale intertropicale : état des lieux, impacts et perspectives.
– TR2 : Contribution du programme de coopération SEP2D et évolution des cadres internationaux de mise en œuvre. […]

17 L'ensemble des présentations du symposium en ligne reste consultable : http://sep2d.org/actions-temps-forts/symposium-en-ligne

18 Les quatre tables rondes du séminaire de clôture peuvent être visionnées en ligne : http://sep2d.org/actions-temps-forts/seminaire-de-cloture

– TR3 : Comment la recherche scientifique peut-elle répondre aux enjeux de conservation dans la décennie cruciale qui s'ouvre ?
– TR4 : Quelle place accorder à la recherche scientifique du Sud dans le financement de la gestion durable de la biodiversité végétale intertropicale ?

Des vidéos de présentation des projets financés par SEP2D

Consultables ici : https://vimeo.com/channels/sep2d2021/videos/sort:preset/format:detail

Cet ouvrage collectif.

Chapitre 50

Vers un 3e programme après SEP et SEP2D

Eric CHENIN
IRD, France

Stéphanie ARDILA-CHAUVET
IRD, France

Le programme SEP2D, ainsi que le précédent programme SEP, tous deux menés sur six années, ont révélé les compétences, le dynamisme, l'enthousiasme et les potentialités des 3 000 acteurs des pays francophones du Sud qui s'y sont engagés. Ces acteurs, institutions et autorités des pays ont tous manifesté le souhait qu'une troisième phase soit mise en place.

Différentes orientations pourraient être données à un futur « SEP 3 », et l'une des difficultés sera de parvenir à structurer un programme cohérent en choisissant parmi les options énumérées ci-dessous. Trois notions clés doivent guider les orientations : le protocole de Nagoya, les impacts du changement climatique et le cadre des objectifs post-2020 pour la biodiversité mettant l'accent sur la restauration écologique.

Dans la réflexion à conduire pour l'élaboration de cette troisième phase, de nombreuses dimensions seront à considérer.

1. La partie du vivant à prendre en compte : doit-on s'inscrire dans la continuité des programmes SEP et SEP2D en restant focalisé sur les plantes et les champignons ou bien élargir à d'autres organismes ?

2. Les milieux à examiner : doit-on s'intéresser spécifiquement à certains habitats, comme les forêts, les littoraux, les milieux aquatiques, les sols, le marin, etc. ?

3. La dimension thématique : se concentre-t-on sur le changement climatique, la surexploitation, la pollution, la dégradation des sols, la désertification, etc. ?

4. Les aspects fonctionnels : faut-il mettre l'accent par exemple sur les réseaux trophiques, les interactions entre espèces, la compétition *versus* la coopération, la structure des écosystèmes, etc. ?

5. Le périmètre géographique[1] : faut-il réduire la couverture géographique du programme ou au contraire l'étendre ?

En termes d'approches, on peut retenir différents atouts de SEP et SEP2D, mais aussi d'autres programmes comme le programme « Biodiversity information for development » (BID), conduit par le GBIF et financé par EuropeAid.

1. L'aspect multilatéral en travaillant pas non pas sur un seul pays, mais sur au moins une région, voire une grande région. Cela suscite de l'émulation et permet de partager, de joindre les efforts et les compétences, d'avoir une masse critique et une visibilité.

2. L'aspect multi-bailleurs car la plupart des financeurs, dont les moyens sont de plus en plus limités, demandent dorénavant des co-financements. Faire appel à un panel de bailleurs peut être essentiel pour apporter de la stabilité et renforcer le projet.

Un autre aspect important à considérer dans le montage d'une troisième phase sera l'éventail des activités à couvrir. Les programmes SEP et SEP2D réunissaient recherche fondamentale[2], appui aux collections, enseignement académique, formations techniques et professionnelles, séminaires (qui permettent les partages d'expérience[3]), participation et/ou organisation de grandes conférences scientifiques, et, enfin, participation aux grands rendez-vous internationaux liés à la biodiversité, préparés à travers des ateliers collaboratifs mobilisant négociateurs et scientifiques (COP et SBSTTA de la CDB, congrès de la Cites, de l'UICN, mise en place de l'IPBES, etc.). Les programmes SEP et SEP2D couvraient ainsi tous les domaines d'action des enseignants-chercheurs, en leur offrant de multiples occasions de partager et de valoriser leurs connaissances. Quant à l'interface recherche-action, SEP2D a démontré l'efficacité du travail mené, tant pour répondre aux besoins opérationnels du secteur privé et des acteurs de la conservation que pour produire de la connaissance. Il conviendra donc, pour une troisième phase, de décider si un recentrage sur quelques-unes de ces activités serait opportun ou non.

Un élément, qui n'a pas été développé dans les deux phases précédentes pourrait être ajouté à cette approche et renforcerait la durabilité des résultats de la prochaine phase : capitaliser tout le savoir-faire produit dans un tel programme, au sein d'une ONG accueillant les acteurs académiques du Sud qui travaillent

1 L'enjeu de la couverture géographique d'un 3e volet SEP est tout à fait central et soulève de nombreuses questions : doit-on étendre la couverture actuelle aux Caraïbes francophones ? La francophonie est-elle un critère pour délimiter ce périmètre ? Ou bien se concentre-t-on plutôt sur un continent, par exemple l'Afrique, en étendant à l'Afrique de l'Est et australe ? Il y également la question des pays émergents, comme ceux d'Amérique latine, ou la Chine, qui sont directement concernés par les milieux tropicaux : des partages de réflexions, de solutions, de pratiques, peuvent se faire entre pays émergents et pays en développement. Ou bien, à l'inverse, faut-il recentrer le programme sur une région afin de concentrer les ressources et les actions sur quelques pays seulement ?

2 Ainsi que la recherche-action dans le cadre du programme SEP2D.

3 Les séminaires permettent des partages d'expérience, par exemple en gestion d'herbiers, la restitution de projets, ou la réflexion partagée sur les enjeux de l'APA par exemple, ou sur la mise en œuvre de réglementations internationales à l'échelle d'un pays ou d'une région, etc.

sur la biodiversité. Cette ONG se nourrirait de leur expérience au contact des entreprises, des acteurs de la conservation et des politiques, et leur permettrait de mutualiser, de renforcer et de pérenniser leur savoir-faire.

Enfin, pour construire cette nouvelle phase, on pourra s'appuyer sur le réseau étoffé d'enseignants-chercheurs, d'acteurs et d'entreprises, ainsi que sur les institutions, agences publiques, ONG et autorités, qui ont été impliqués à des degrés divers dans les programmes SEP et SEP2D depuis plus de douze ans. En procédant de manière itérative et interactive, il faudra faire émerger les priorités et élaborer progressivement un programme aussi complet et consensuel que possible. Dans le dialogue avec le secteur privé, il faudra être particulièrement attentif à la conservation et à l'utilisation durable de la biodiversité ; les engagements avec les entreprises doivent permettre des changements de modèle économique par rapport aux pratiques éventuelles qui ne seraient pas compatibles avec le cadre de la CDB post-2020.

Quelles que soient les orientations qui seront choisies, on dispose maintenant de décennies d'expérience en matière de recherche pour le développement et de renforcement des capacités, ainsi qu'en matière de coopération Sud-Sud et Sud-Nord. Outre les douze années de compétences et d'expériences acquises dans le cadre des programmes SEP et SEP2D sur la manière dont un tel programme peut fonctionner, il sera possible également de s'inspirer d'autres programmes menés dans le cadre du GBIF, du Pnud, du Pnue, et financés par Usaid, EuropeAid, la coopération allemande, etc., afin de s'inspirer des meilleurs résultats et pratiques.

L'expérience nous a aussi appris que monter un tel programme demande du temps, quel que soit le nombre d'organismes financeurs, leur investissement et leur mobilisation. À titre d'exemples, il a fallu deux ans pour monter le programme Cepdec[4] du GBIF avec la Coopération danoise, quatre ans pour le programme BID avec EuropeAid, quatre ans pour le programme SEP avec le MAEE, et, enfin, six ans pour le montage et le démarrage de SEP2D. Il faut donc souhaiter que la démonstration réalisée de la faisabilité et de la pertinence des démarches « SEP-SEP2D », en matière de collaborations et de partenariats entre les différents acteurs de la biodiversité, permettra une mobilisation rapide des financeurs pour la poursuite et l'extension de ce programme, attendues par tous. Comme souligné à plusieurs reprises, cette troisième phase devra être en parfaite adéquation avec le futur cadre post-2020 pour la biodiversité, la stratégie mondiale actualisée pour les plantes en cours de négociation et la Décennie des Nations unies pour la restauration écologique.

4 Cepdec : Capacity enhancement program for developing countries, conduit par le GBIF et financé par la coopération danoise.

Conclusion générale

Philippe GRANDCOLAS
CNRS, France

Maïté DELMAS
MNHN, France

Serge MULLER
MNHN, France

Stéphanie ARDILA-CHAUVET
SEP2D, France

Claire BILLOT
Cirad, France

Pierre COUTERON
IRD, France

Thi My Hanh DIEP
Université nationale
de Hô Chi Minh ville, Viet Nam

Kouami KOKOU
Université de Lomé, Togo

Jean-Pierre PROFIZI
SEP2D, France

Anshuman Singh RANA
SEP2D, France

Hery Lisy Tiana RANARIJAONA
Université de Mahajanga, Madagascar

Bonaventure SONKE
Université de Yaoundé I, Cameroun

La biodiversité devient un enjeu fort de société, et c'est tant mieux ! Pendant des décennies, voire des siècles ou même des millénaires, l'humanité n'a pas nommé et considéré le vivant de manière unitaire, si ce n'est de façon polysémique ou imprécise avec des mots comme « nature » englobant souvent le minéral ou d'innombrables dénominations pour les différents organismes[1]. Avec le terme « biodiversité », nous avons enfin un mot et un concept pour comprendre globalement que le vivant est divers, omniprésent et qu'il évolue.

Il est donc maintenant possible de prendre conscience que nous sommes totalement dépendants de cette diversité du vivant : notre alimentation, nos sources d'énergie, nos matériaux, nos médicaments sont « biodivers » au passé, au présent et au futur. Notre environnement physique lui-même est également totalement lié au vivant : pas de sols fertiles, pas de régulation climatique sans

1. DUCARME F., COUVET D., 2020 – What does 'nature' mean? *Palgrave Communications*, 6, 14.

biodiversité, pour ne parler que de l'essentiel. Enfin, la diversité culturelle humaine est aussi intimement liée à la diversité du vivant.

Certes, nos sociétés industrielles occidentales prennent enfin conscience de ce lien fort. Mais elles continuent à considérer chaque sujet en silo, comme si l'inventaire de la diversité du vivant et la connaissance de l'évolution étaient d'intérêts distincts de questions concernant la production des aliments, des matériaux ou des médicaments, soit la valorisation et la gestion du vivant. Les vocables désignant les grands enjeux et programmes internationaux nous le rappellent pourtant quotidiennement : un monde, une planète, une santé : les approches globales et intégratives sont indispensables.

Le programme « Sud Expert Plantes Développement durable » (SEP2D) a donc eu le très grand mérite d'articuler ces missions habituellement encore trop séparées, de les associer à la formation et à l'enseignement, et de convoquer tous les acteurs pour qu'ils travaillent ensemble afin de mieux connaître, valoriser et gérer durablement la biodiversité végétale intertropicale. Le monde végétal est en effet la clé de bien des problématiques de biodiversité. Les plantes, les algues, les champignons et les micro-organismes sont les producteurs primaires dans tous les écosystèmes, soutenant tous les autres êtres vivants, construisant les sols et piégeant les gaz à effet de serre.

Les régions intertropicales sont en outre les lieux de tous les défis et des plus grands espoirs de l'humanité. Bien plus riches en biodiversité que tous les autres écosystèmes sur Terre, leur étude et leur gestion soulèvent des problèmes et incluent des enjeux considérables de connaissances, de conservation et de gestion durable. Les projets financés par SEP2D et présentés dans ce livre montrent bien les besoins colossaux que nous avons de mieux connaître et de mieux comprendre l'inventaire, le fonctionnement ou les modalités de gestion de cette biodiversité. Chaque année, plusieurs milliers d'espèces végétales nouvelles pour la science viennent s'ajouter aux centaines de milliers d'espèces déjà connues et, ce faisant, complexifient ou enrichissent la compréhension que nous avons du fonctionnement des écosystèmes ou de nos systèmes de productions. Par exemple, là où une forêt tempérée comporte quelques espèces arborescentes dominantes à l'hectare, une forêt tropicale en comporte des dizaines ou même des centaines ! Une telle diversité est une grande richesse mais elle peut aussi entraîner de grandes difficultés en matière de gestion ou de gouvernance, comme le montrent les projets financés par SEP2D dans ce domaine. Riche au plan biologique, la région intertropicale l'est aussi au plan humain, avec une diversité culturelle extraordinaire impliquant une diversité et une richesse de savoirs traditionnels tout aussi extraordinaires, qu'il faut également respecter, conserver et prendre en compte.

Face à ces richesses, les communautés scientifiques ont un immense besoin de formations et d'enseignements, tant théoriques que pratiques, et de financements. Les infrastructures de science ouverte et de référencement du vivant que sont les herbiers et les jardins botaniques doivent être soutenues, développées, rendues accessibles, interopérables et durables. Plusieurs projets ont été financés en ce

sens par SEP2D de manière importante et significative. En deçà et au delà de la numérisation des données et de l'informatisation de ces infrastructures, il est en effet indispensable que les données primaires et l'identité des espèces biologiques, pour la plupart méconnues, puissent devenir disponibles à toute la communauté scientifique.

Valoriser ces ressources et les connaissances associées – traditionnelles et/ou modernes – est un objectif sociétal important. Associée trop souvent à une activité mercantile et potentiellement non durable, la valorisation revient en fait à proposer une simple utilisation de la biodiversité, ce que nous faisons au quotidien, pour ne citer que quelques exemples, avec notre nourriture, l'aménagement de nos territoires et notre médecine, avec l'utilisation de principes actifs d'origine naturelle. L'important est que cette utilisation soit raisonnée : elle doit respecter les détenteurs des savoirs, les droits des peuples et des individus, le droit de l'environnement et les équilibres naturels en jeu dans les écosystèmes. La valorisation – au sens littéral de création de valeur – doit respecter des valeurs sociétales et éthiques. Pour cela, elle doit être réfléchie avec tous les acteurs sociétaux et bien sûr les scientifiques, en prenant pleinement en compte les protocoles et accords internationaux.

Enfin, les régions intertropicales sont aussi souvent frappées par les changements globaux de manière plus intense, exacerbés en force et en étendue suite au changement climatique[2], avec un terrible cortège d'effets désastreux au plan environnemental et humain. Ces régions souffrent également d'exportations destructrices et d'inégalités économiques que la communauté internationale peine à réguler efficacement. Gérer durablement et restaurer les écosystèmes face aux pressions anthropiques est un enjeu majeur, là encore difficilement séparable des enjeux de valorisation ou de gouvernance. La problématique « un monde, une santé » s'est imposée à nous récemment en nous montrant que notre santé, considérablement affectée par l'émergence de maladies zoonotiques, dépend de notre gestion de l'environnement et de la santé des organismes que nous cultivons et que nous élevons.

Le principal sujet de la gouvernance environnementale de notre monde est d'associer les acteurs concernés. Les conclusions scientifiques avérées et globales des recherches menées doivent être portées à la connaissance de tous. Elles doivent aussi se traduire en accords internationaux librement adoptés par les pays et transcrites dans les réglementations et lois, se prêtant à la mise en application effective au niveau des États. Enfin, elles doivent faire l'objet d'une appropriation par tous les acteurs sociétaux impliqués grâce aux indispensables activités d'information, de formation et de plaidoyer.

À l'issue de ces cinq années du programme de recherche SEP2D, et bien qu'il ait concerné vingt-deux pays, des dizaines de projets et des centaines d'acteurs,

2. Yang H., Lohmann G., Lu J., Gowan E. J., Shi X., Liu J., Wang Q., 2020 – Tropical Expansion Driven by Poleward Advancing Midlatitude Meridional Temperature Gradients. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, 125, e2020JD033158.

tous ces sujets n'ont pu être qu'effleurés, tant ils sont vastes et englobants. Néanmoins, SEP2D a eu le grand avantage de continuer à faire la preuve de la pertinence d'un concept déjà éprouvé dans une version antérieure avec le programme SEP. Il est d'autant plus crucial et important qu'une telle initiative trouve une continuation dans un contexte très particulier et contraignant, alors même que toutes les sociétés sont affectées par la crise de l'environnement – climat, biodiversité, santé. Nous manquons de connaissances et de savoir-faire. Nous devons conserver et mieux gérer l'environnement, intégrer les connaissances traditionnelles, valoriser la biodiversité de manière durable et encourager une gouvernance collégiale et efficace sur ces sujets au bénéfice partagé de tous.

Annexes

Liste des auteurs

Adjo Estelle Genevieve Adiko, botaniste, laboratoire de botanique, UFR « Biosciences », université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Kossi Adjonou, écologue forestier, laboratoire de recherche forestière, université de Lomé, Togo.

Ronaldo Adomahou, écologue forestier, École nationale supérieure des biosciences et biotechnologies appliquée, université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Bénin.

Constant Yves Adou Yao, botaniste, laboratoire de botanique, UFR « Biosciences », université Félix Houphouët-Boigny, Centre suisse de recherches scientifiques, Côte d'Ivoire.

Codjo Fiacre Ahononga, écologue forestier, laboratoire d'écologie, de botanique et de biologie végétale, université de Parakou, direction générale des Eaux, Forêts et Chasse, Bénin.

Emma Ablan Ake-Assi, ethnobotaniste, Centre national de floristique, laboratoire des milieux naturels et conservation de la biodiversité, UFR « Biosciences », université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Blandine Akendengué, pharmacien, pharmaco-chimiste, département de Pharmacologie et Toxicologie, faculté de Pharmacie, université des Sciences de la santé, Gabon.

Guillaume Amani Katimbura, botaniste, mycologue, laboratoire de physiologie végétale et de microbiologie appliquée, université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo.

Mohamed Andilyat, écologue, phytogéographe, Herbier national, faculté des Sciences et Techniques, université des Comores, Union des Comores.

Tahiana Andriaharimalala, botaniste, écologue, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Ainazo Herilala Andriamanantena, bryologue, écologue, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Fenozo Heritiana Andriamanantena, écologue, géomaticien, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Zolalaina Andriamanantena, agronome, écologue, école doctorale « Écosystèmes naturels », Institut universitaire de technologies et d'agronomie de Mahajanga, université de Mahajanga, Madagascar.

Sylvie Andriambololonera, botaniste taxonomiste, Missouri Botanical Garden, Madagascar.

Martial Doret Andrianandrasana, microbiologiste, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Nambinina Andry Mihajamanana, microbiologiste, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Stéphanie Ardila-Chauvet, écologue, programme « Sud Expert Plantes Développement durable », Institut de recherche pour le développement, France.

Yédjanlognon Faustin Assongba, écologue forestier, École nationale supérieure des biosciences et biotechnologies appliquées, université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, faculté des Sciences agronomiques, université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Yasminath Judith Follone Avaligbe, agronome, UR « Gestion durable des sols et des cultures », laboratoire des sciences du sol, faculté des Sciences agronomiques, université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Marie Louise Avana Tchientcheu, Unité de recherche de botanique appliquée (Urboa), université de Dschang, Cameroun.

Léon Tapondjou Azefack, Unité de recherche de chimie appliquée et environnementale (Urcape), université de Dschang, Cameroun.

William J. Baker, botaniste taxonomiste, The Herbarium, Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni.

Rondro Harinisainana Baohanta, microbiologiste, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Yao Sadaiou Sabas Barima, écologue, UFR « Environnement », université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Adeline Barnaud, généticienne des populations, UMR « Diversité, adaptation, développement des plantes » (Diade), LMI « Adaptation des plantes et micro-

organismes associés aux stress environnementaux », Institut de recherche pour le développement, France.

Ismaël Akossibè Batcho, botaniste agroforestier, laboratoire de biologie, écologie végétale appliquée et de génétique forestière, université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey-Calavi, Bénin.

Babou André Bationo, biologiste, écologue forestier, Institut de l'environnement et de recherches agricoles, département « Productions forestières », Burkina Faso.

Henk Beentje, botaniste taxonomiste, The Herbarium, Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni.

Bassirou Belem, agroforestier, Centre national de semences forestières, Burkina Faso.

Ali Bene, anthropologue, département « Environnement et forêts », Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Burkina Faso, UMR « Patrimoines locaux, environnement et globalisation » (Paloc), Institut de recherche pour le développement, France.

Cécile Berthouly-Salazar, généticienne des populations, UMR « Diversité, adaptation, développement des plantes » (Diade), LMI « Adaptation des plantes et micro-organismes associés aux stress environnementaux », Institut de recherche pour le développement, France.

Rickarlos Bezandry, écologue, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Séverin Biaou, agronome forestier, laboratoire de botanique et de biologie végétale, université de Parakou, Bénin.

Claire Billot, généticienne, UMR « Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales » (Agap), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Bienfait Birindwa, botaniste, laboratoire de physiologie végétale et de microbiologie appliquée, université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo.

Élisabeth Biringanine Mugoli, botaniste, Centre de recherche en sciences naturelles de Lwiro, République démocratique du Congo.

Sébastien Boria, mécatronicien, Airbus Defence and Space, France.

Jean-Marc Bouvet, généticien forestier, direction régionale pour l'Afrique australe et Madagascar, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Maëlle Carraz, chimiste, biologiste, UMR « Pharmacochimie et biologie pour le développement » (Pharma-Dev), Institut de recherche pour le développement, France.

Gilles Chaix, généticien forestier, UMR « Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales » (Agap), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier SupAgro, France.

Legrand Cirimwami, écologue forestier, faculté des Sciences, université du Cinquantenaire, République démocratique du Congo.

Aby Cissé, agroécologue, UMR « Diversité, adaptation, développement des plantes » (Diade), Institut de recherche pour le développement, France, université Gaston Berger, Institut sénégalais de recherches agricoles, Sénégal.

Cathy Clermont-Dauphin, agronome, UMR « Écologie fonctionnelle & biogéochimie des sols & des agrosystèmes » (Eco&Sols), LMI « Intensification écologique des sols », Institut de recherche pour le développement, France.

Jean-Marie Compaoré, médecin, Fédération nationale des tradipraticiens de santé du Burkina, ministère de la Santé, Burkina Faso.

Geo Coppens D'Eeckenbrugge, agronome, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Pierre Couteron, écologue forestier, UMR « Botanique et modélisation de l'architecture des plantes et des végétations » (Amap), Institut de recherche pour le développement, France.

Thomas Couvreur, botaniste taxonomiste, UMR « Diversité, adaptation, développement des plantes » (Diade), Institut de recherche pour le développement, Équateur.

Alfred Cubaka, microbiologiste de la rhizosphère, laboratoire de physiologie végétale et de microbiologie appliquée, université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo.

Éric Delaitre, géomaticien, UMR « Observation spatiale, modèles et science impliquée » (Espace-DEV), Institut de recherche pour le développement, France.

Maïté Delmas, botaniste, direction des Relations européennes et internationales, direction en charge de l'Outre-Mer, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Urbain Dembélé, agroéconomiste, Institut d'économie rurale, Mali.

Mohamed Diabaté, botaniste, Centre régional de recherche agronomique de Sérédou, Institut de recherche agronomique de Guinée, Guinée.

Moussa Diabaté, botaniste, Centre régional de recherche agronomique de Sérédou, Institut de recherche agronomique de Guinée, Guinée.

Ismaïla Diarra, aménagiste forestier, Institut d'économie rurale, Mali.

Nguyen Khac Dieu, écologue, Centre de recherche et de conservation des ressources naturelles, université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam.

Julien G. M. Djego, écologue forestier, laboratoire d'écologie appliquée, faculté des Sciences agronomiques, université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Manuela Kelly Djeuga Youga, ethnobotaniste, Unité de recherche de botanique appliquée (Urboa), université de Dschang, Cameroun.

John Dransfield, botaniste taxonomiste, The Herbarium, Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni.

Soejatmi Dransfield, botaniste, Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni.

Cécile Dubois, statisticienne, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Caroline Dubourg, ingénieure agro-alimentaire, entreprise Mane, France.

Robin Duponnois, écologue, UMR « Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes » (LSTM), Institut de recherche pour le développement, France.

Edlyne Myrna Caprice Bouckandou Bouyeck Essobo, toxicologue, département de Pharmacologie et Toxicologie, faculté de Pharmacie, université des Sciences de la santé, Gabon.

Janique Étienne, Fonds français pour l'environnement mondial, France.

Eben-Ezer B. K. Ewedje, botaniste, généticien forestier, laboratoire de biologie, écologie végétale appliquée et de génétique forestière, Herbier national du Bénin, université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Bénin.

Miadana Faramalala, écologue phytogéographe, département de Biologie et Écologie végétales, faculté des Sciences, université d'Antananarivo, Madagascar.

Théophile Fonkou, écophysiologiste, Unité de recherche de botanique appliquée (Urboa), université de Dschang, Cameroun.

Thierry Youmbi Fonkui, chimiste organicien, Department of Biotechnology and Food technology, université de Johannesburg, Afrique du Sud.

Hubert de Foresta, botaniste, écologue des forêts tropicales, UMR « Botanique et modélisation de l'architecture des plantes et des végétations » (Amap), Institut de recherche pour le développement, France.

Anne Fournier, anthropologue, UMR « Patrimoines locaux, environnement et globalisation » (Paloc), Institut de recherche pour le développement, France.

Souleymane Ganaba, botaniste, département « Environnement et forêts », Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Burkina Faso.

Paul Césaire Gnangle, agronome, socio-économiste, Institut national des recherches agricoles du Bénin, Bénin.

Zinsi Roseline Gouli Gnanazan, écologue, laboratoire des milieux naturels et conservation de la biodiversité, UFR « Biosciences », université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Gérard Nounagnon Gouwakinnou, écologue forestier, laboratoire de botanique et de biologie végétale, département « Aménagement et gestion des ressources naturelles », faculté d'Agronomie, université de Parakou, Bénin.

Philippe Grandcolas, entomologiste, écologue, Institut de systématique, évolution, biodiversité (MNHN, CNRS, Sorbonne université, EPHE, université des Antilles), France.

Daniel Guibal, anatomiste du bois, UR « Biomasse, bois, énergie, bio-produits », Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Aurélien Guingand, Agence française pour le développement, France.

Innocent Pierre Guissou, pharmacologue, département de Médecine traditionnelle, Pharmacopée et Pharmacie, Institut de recherche en science de la santé, Centre national de recherche scientifique et technologique, université de Ouagadougou, Burkina Faso.

Jacques Gurgand, écologue forestier, Centre de recherche et de conservation des ressources naturelles, université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam.

Ouo Ouo Haba, botaniste, faculté des Sciences de l'Environnement, département de Gestion des ressources naturelles, université de Nzérékoré, Guinée.

François Habiyaremye Muhashy, botaniste, Institut royal des sciences naturelles de Belgique.

Thomas Haevermans, botaniste, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Thi My Hanh Diep, écologue, Centre de recherche et de conservation des ressources naturelles, université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam.

Dominique Hervé, forestier, UMR « Savoirs, environnement, sociétés » (Sens), Institut de recherche pour le développement, France.

Mathias Hitimana, botaniste, laboratoire de biodiversité, écologie et environnement, Centre de recherche en sciences naturelles et de l'environnement, faculté des Sciences, université du Burundi.

Gbènato Laurent Houessou, écologue forestier, laboratoire de botanique et de biologie végétale, département « Aménagement et gestion des ressources naturelles », faculté d'Agronomie, université de Parakou, Bénin.

Ogoubiyi Félix Houeto, géophysicien télédétection, Centre national de télédétection et de suivi écologique, Bénin.

Aimé Houndonougbo, écologue forestier, laboratoire d'écologie appliquée, faculté des Sciences agronomiques, université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Alfred Houngnon, chercheur indépendant, Association de gestion intégrée des ressources, Bénin.

Stéphanie Diane Konan Houphlet, écologue du paysage, laboratoire d'écologie, biodiversité, évolution, UFR « Environnement », université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Marianne Huchard, informaticienne, laboratoire d'informatique, de robotique et de micro-électronique de Montpellier, université de Montpellier, France.

Shègoun Eudes Idjigberou, agronome forestier, laboratoire de botanique et de biologie végétale, département « Aménagement et gestion des ressources naturelles », faculté d'Agronomie, université de Parakou, Bénin.

Zakaria Ilboudo, entomologiste, laboratoire entomologie fondamentale et appliquée, université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso.

Jacques Iltis, biogéographe, UMR « Observation spatiale, modèles et science impliquée » (Espace-DEV), Institut de recherche pour le développement, France.

Emmanuel Irenge, pharmacien, laboratoire de physiologie végétale et de microbiologie appliquée, université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo.

Benziwa Nathalie Johnson, biotechnologiste végétale, laboratoire de recherche forestière, université de Lomé, Togo.

Ndjido Ardo Kane, généticien, LMI « Adaptation des plantes et micro-organismes associés aux stress environnementaux », Institut sénégalais de recherches agricoles, Sénégal.

Beth Kaplin, botaniste, université de Massachusetts-Boston (USA), Centre of Excellence in Biodiversity and Natural Resource Management, College of Science and Technology, université du Rwanda, Rwanda.

Priscilla Keip, informaticienne, UR « Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles » (Aïda), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Carine Pamela Kenfack, écophysiologiste, Unité de recherche de botanique appliquée (Urboa), université de Dschang, Cameroun.

Léa Alida Kenmene, ingénieure agroforestier, Cameroon Association for Sustainable Development, Cameroun.

Jean Kouao Koffi, biogéographe, UFR « Sciences de la nature », université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire.

Kouami Kokou, écologue forestier, laboratoire de recherche forestière, université de Lomé, Togo.

Adzo Dzifa Damienne Kokutse, anatomiste technologie du bois, laboratoire de recherche forestière, université de Lomé, Togo.

Arthur Brice Konan-Waidhet, géomaticien, télédétection SIG, laboratoire d'écologie-biodiversité-évolution, UFR « Environnement », université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Falaye Koné, botaniste forestier, direction nationale des Eaux et Forêts, ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts, Guinée.

Djaha Kouame, botaniste, laboratoire d'écologie, biodiversité, évolution, UFR « Environnement », université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Faustine Akossoua Kouassi, agrostologue, laboratoire des systématiques, herbiers et musée botanique, Centre national de floristique, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Kouame Jean Marc Kouman, écologue forestier, UFR « Environnement », université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Amadou Malé Kouyate, aménagiste forestier, Institut d'économie rurale, Mali.

Kouassi Bruno Kpangui, écologue forestier, UFR « Environnement », université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Jean-Pierre Labouisse, agronome, UMR « Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales » (Agap), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Patrick Langbour, anatomiste technologie du bois, UR « Biomasse, bois, énergie, bio-produits », Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Jean-Patrick Le Duc, écologue, consultant international biodiversité, France.

Jean Lejoly, botaniste, Initiatives pour l'agroforesterie en Afrique, République démocratique du Congo.

Thierry Leroy, généticien, UMR « Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales » (Agap), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Nguyễn thị Bich Loan, biologiste, Centre de recherche et de conservation des ressources naturelles, université nationale d'Ho Chi Minh Ville, Viet Nam.

Tolérant K. Lubalega, écologue forestier, antenne « Gestion et conservation des ressources naturelles », université de Kikwit, République démographique du Congo.

Joseph Kasali Lumande, forestier, École régionale post-universitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux, université de Kinshasa, République démocratique du Congo.

Marie-Claire Machouart, mycologue médical, laboratoire « Stress, immunité, pathogènes » (Simpa), université de Lorraine, France.

Hermance Maevatiana, microbiologiste, biochimie fondamentale et appliquée, université d'Antananarivo, Madagascar.

Faustin Francky Manantsoa, microbiologiste, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Emmanuel Mangombe, agroforestier, département de Gestion des ressources naturelles renouvelables, faculté des Sciences agronomiques, université Loyola du Congo, République démographique du Congo.

Jean Marie Vianney Manirakiza, géologue, laboratoire de biodiversité, écologie et environnement, Centre de recherche en sciences naturelles et de l'environnement, faculté des Sciences, université du Burundi.

Pascal Marnotte, malherbologue, Plant Health Institute Montpellier, UR « Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles » (Aïda), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Pierre Martin, informaticien modélisation, UR « Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles » (Aïda), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Tatien Masharabu, écologue, laboratoire de biodiversité, écologie et environnement, département de Biologie, Centre de recherche en sciences naturelles et de l'environnement, faculté des Sciences, université du Burundi.

Céphas Masumbuko Ndabaga, botaniste, département de Biologie, faculté des Sciences, université officielle de Bukavu, République démocratique du Congo.

Hélène Mbuntcha, biochimiste, Unité de recherche de chimie appliquée et environnementale (Urcape), université de Dschang, Cameroun.

Blondo-Pascal Metsebing, mycologue, laboratoire de cryptogamie, université de Yaoundé 1, Cameroun.

Ouattara Mevanly, écologue, laboratoire des milieux naturels et conservation de la biodiversité, UFR « Biosciences », université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Pépé Monèmou, agroforestier, faculté des Sciences de l'environnement, département de Gestion des ressources naturelles, université de N'Zérékoré, Guinée.

Dominique Claude Mossebo, botaniste, laboratoire de cryptogamie, université de Yaoundé 1, Cameroun.

Ernest Muanda, agroforestier, ONG de l'université libre de Bruxelles, ULB Coopération, Belgique.

Serge Muller, botaniste, écologue, Institut de systématique, évolution, biodiversité (MNHN, CNRS, Sorbonne université, EPHE, université des Antilles), Muséum national d'Histoire naturelle, France.

François Munoz, botaniste, UMR « Botanique et modélisation de l'architecture des plantes et des végétations » (Amap), université Grenoble-Alpes, France.

Maghnaoui Najate, expert qualité, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Joël Ndayishimiye, biogéographe, laboratoire de biodiversité, écologie et environnement, Centre de recherche en sciences naturelles et de l'environnement, faculté des Sciences, université du Burundi.

Alihou Ndiaye, responsable d'association paysanne, Association sénégalaise de producteurs de semences paysannes, Sénégal.

Derek Tantoh Ndinteh, chimiste organicien, Department of Chemical Sciences, université de Johannesburg, Afrique du Sud.

Ezéchiel Ngendakumana, botaniste, Herbarium, Centre de recherche en sciences naturelles et de l'environnement, faculté des Sciences, université du Burundi.

Koua Serge Béranger N'Goran, phytopathologiste, laboratoire des systématiques, herbiers et musée botanique, Centre national de floristique, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Victor François Nguetsop, paléobotaniste, Unité de recherche de botanique appliquée (Urboa), université de Dschang, Cameroun.

Aude Nikièma, botaniste, UMI « Institut des sciences des sociétés », Centre national de recherche scientifique et technologique, Burkina Faso.

Romuald Oba, mycologue, laboratoire de cryptogamie, université de Yaoundé 1, Cameroun.

Abdel Aziz Osseni, biogéographe aménagiste, École d'horticulture et d'aménagement des espaces verts, université nationale d'Agriculture, Bénin.

Ténipagba Ouali, botaniste forestier, ministère de l'Environnement, de l'Économie verte et du Changement climatique, Burkina Faso.

Djakalia Ouattara, ethnobotaniste, laboratoire des systématiques, herbiers et musée botanique, Centre national de floristique, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Amadé Ouedraogo, botaniste, laboratoire de biologie et écologie végétales, UFR en sciences de la vie et de la Terre, université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso.

Issiaka Ouédraogo, médecin, service de gastro-entérologie, Centre hospitalier universitaire Yalgado Ouédraogo, Burkina Faso.

Moussa Ouédraogo, généticien forestier, Centre national des semences forestières, Burkina Faso.

Noufou Ouédraogo, pharmatologue, département de Médecine traditionnelle, Pharmacopée et Pharmacie, Institut de recherche en science de la santé, Centre national de recherche scientifique et technologique, Burkina Faso.

Marc Pignal, botaniste, Institut de systématique, évolution, biodiversité (MNHN, CNRS, Sorbonne université, EPHE, université des Antilles), Muséum national d'histoire naturelle, France.

Mireille Stéphanie Pitta Badjo, mycologue, laboratoire des milieux naturels et conservation de la biodiversité, UFR « Biosciences », université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Jean-Pierre Profizi, botaniste, consultant international, programme « Sud Expert Plantes Développement Durable », Institut de recherche pour le développement, France.

Habou Rabiou, biologiste, écologue végétal, faculté des Sciences agronomiques, université de Diffa, Niger.

Verohanitra M. Rafidison, ethnobotaniste, département de Biologie et Écologie végétales, faculté des Sciences, université d'Antananarivo, Madagascar.

Rivo Andriamaro Rajoharison, biologiste, Tropical Biodiversity & Social Enterprise, Madagascar.

Felana Niaina Joseph Rakoto, écologue, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, université d'Antananarivo, Madagascar.

Vonjison Rakotoarimanana, écologue, biologie et écologie végétales, faculté des Sciences, université d'Antananarivo, Madagascar.

Mijoro Rakotoarinivo, botaniste, taxonomiste, biologie et écologie végétales, faculté des Sciences, université d'Antananarivo, Madagascar.

Ramisandrazana Rakotoariseheno, historienne, Centre national de recherches sur l'environnement, Antananarivo, Madagascar.

Solofo Rakotondraompiana, géomaticien télédétection, Institut de géophysique et observatoire d'Antananarivo, université d'Antananarivo, Madagascar.

Solofoarisoa Rakotoniaina, géomaticien télédétection, Institut de géophysique et observatoire d'Antananarivo, université d'Antananarivo, Madagascar.

Ali Ramadhoini, botaniste, Herbier national, faculté des Sciences et Techniques, université des Comores, Union des Comores.

Lolona Ramamonjisoa, forestier, point focal du protocole de Nagoya, ministère de l'Environnement et du Développement durable, Madagascar.

Jean Baptiste Ramanamanjato, herpétologue, Tropical Biodiversity & Social Enterprise, Madagascar.

Heriniaina Ramanankierana, microbiologiste, Institut supérieur des sciences, environnement et développement durable, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Lalaina Rambeloarisoa, écologue, département de Biologie et Écologie végétales, faculté des Sciences, université d'Antananarivo, Madagascar.

Botovao Auguste Ramiandrisoa, botaniste, hydrobiologiste, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Elie Ramiarana, écologue, botaniste, Institut supérieur de sciences, environnement et développement durable, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Claudine Ramiarison, géographe de la biodiversité, Centre d'information et de documentation scientifique et technique, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Tony Arison Ramihangihajason, géomaticien télédétection, Institut de géophysique et observatoire d'Antananarivo, université d'Antananarivo, Madagascar.

Anshuman Singh Rana, agronome, programme « Sud Expert Plantes Développement durable », Institut de recherche pour le développement, France.

Sariaka Bianca Ranaivojaona, botaniste sigiste, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Sitraka Mireille Ranaivosoa-Toandro, sociologue, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Hery Lisy Tiana Ranarijaona, botaniste, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Herizo Randriambanona, écologue forestier, Institut supérieur des sciences, environnement et développement durable, Centre national de recherches sur l'environnement, Madagascar.

Vahatra Ainga Tahina Randrianirina, biotechnologiste, biochimie fondamentale et appliquée, université d'Antananarivo, Madagascar.

Irinomenjanahary Randrianjafy, botaniste melissopalynologue, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Faly Randriatafika, botaniste, QIT Madagascar Minerals Rio Tinto, Madagascar.

Noëline Raondry Rakotoarisoa, botaniste, écologue, réseau africain des réserves de biosphère, Division des sciences écologiques et des sciences de la terre, programme sur l'Homme et la biosphère (MAB), Unesco, France.

Solo H. Rapanarivo, botaniste, parc botanique et zoologique de Tsimbazaza, Madagascar.

Rolland Ratsito, géographe, Energy Canopy, Madagascar.

Irinah Ratsizafy, microbiologiste, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, université d'Antananarivo, Madagascar.

Hibrahim Rijasoa Ravonjimalala, géomaticien, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Harizoly Razafimandimby, forestier écologue, Centre national de recherches appliquées au développement rural, département des Recherches forestières et Gestion des ressources naturelles, Madagascar.

Malala Aalexandra Razafindrabe, économiste de l'environnement, Centre d'économie, d'éthique et d'environnement pour le développement, faculté d'Économie, de Gestion et de Sociologie, université d'Antananarivo, Madagascar.

Tsoushima Ernest Razakatiana, microbiologiste, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Delphine Renard, agroécologue, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, Centre national de la recherche scientifique, France.

Bernard Riera, biogéographe, UMR « Mécanismes adaptatifs & évolution » (Mecadev), Centre national de la recherche scientifique, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Ronan Rivallan, biologiste moléculaire, UMR « Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales » (Agap), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Edmond Roger, écologue forestier, département de Biologie et Écologie végétales, faculté des Sciences, université d'Antananarivo, Madagascar.

Véronique Rossow, économiste des substances naturelles, consultante internationale, France.

Olivier Rukundo, juriste, consultant international, France.

Sylvie Annabel Sabatier, botaniste, UMR « Botanique et modélisation de l'architecture des plantes et des végétations » (Amap), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Moctar Sacandé, physiologiste des semences tropicales, division des Ressources et des Politiques forestières, département des Forêts, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Italie.

Aliou Saidou, fertilisation des sols et nutrition des plantes, UR « Gestion durable des sols et des cultures », faculté des Sciences agronomiques, université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Saidou N. Sall, écologue des sols, UFR « Sciences agronomiques de l'aquaculture et des technologies alimentaires » (S2ATA), université Gaston Berger, Sénégal.

Ly Ngoc Sam, botaniste, Institute of Tropical Biology, Viet Nam.

Ibrahim Samaké, agroéconomiste, Institut polytechnique rural de formation et recherche appliquée de Katibougou, Mali.

Agnès Sangaré, botaniste, faculté des Sciences et Techniques, département de Biologie, université de N'Zérékoré, Guinée.

Lassina Sanou, écologue, conservation de la biodiversité, département « Écologie forestière », Centre national de semences forestières, Burkina Faso.

Samira Sarter, microbiologiste, Institut des sciences de l'évolution de Montpellier, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Christine Schippa, ingénieure agro-alimentaire, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, Montpellier, France.

Kossi Novinyo Segla, anatomiste du bois, laboratoire de recherche forestière, université de Lomé, Togo.

Pierre Silvie, entomologiste, Plant Health Institute Montpellier, UR « Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles » (Aïda), Institut de recherche pour le développement, France.

Pè Louoguea Simmy, biotechnologiste, faculté des Sciences et Techniques, département de Biologie, université de N'Zérékoré, Guinée.

Sibidou Sina, généticien forestier, Centre national de semences forestières, Burkina Faso.

Brice A. Sinsin, écologue forestier, laboratoire d'écologie appliquée, faculté des Sciences agronomiques, université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Richard Menson Somanin, botaniste, agroforestier, laboratoire de biologie, écologie végétale appliquée et de génétique forestière, université nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Bénin.

Bonaventure Sonke, botaniste, université Yaoundé 1, Cameroun.

Patrick Sonkoue Njimeli, Unité de recherche de botanique appliquée (Urboa), université de Dschang, Cameroun.

Zaou Soropogui, botaniste forestier, faculté des Sciences et Techniques, département de Biologie, université de N'Zérékoré, Guinée.

Appolinaire Tagne, phytopathologiste, Institut de recherche agricole pour le développement, Cameroun.

Paule Teres, agronome, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

André Tibiri, biologiste, laboratoire de biologie appliquée, département de Médecine traditionnelle, Pharmacopée et Pharmacie, Institut de recherche en science de la santé, Centre national de recherche scientifique et technologique, Burkina Faso.

Marie-Solange Tiébré, botaniste, laboratoire des systématiques, herbiers et musée botanique, Centre national de floristique, laboratoire des milieux naturels et conservation de la biodiversité, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Abasse Tougiani, agroforestier, Institut de recherche agronomique de Niamey, Niger.

Bi Boli Francis Tra, sociologue, laboratoire des systématiques, herbiers et musée botanique, Centre national de floristique, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Lassina Traoré, écologue forestier, UFR « Sciences et technologies », université Norbert Zongo, Burkina Faso.

Siaka Drissa Traoré, agroéconomiste, Institut d'économie rurale, Mali.

Tata Kadiatou Traoré, biologiste, laboratoire de développement du médicament, université de Ouagadougou, Burkina Faso.

Tsaralaza Jorlin Tsiavahananahary, ornithologue, école doctorale « Écosystèmes naturels », faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Robert D. Turk, horticulteur, Sampan'Asa Momba ny Fampandrosoana (SAF-FJKM), arboretum de Ranomafana, Madagascar.

Marie Élodie Vavitsara, écologue, faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement, université de Mahajanga, Madagascar.

Régine Vignes-Lebbe, informaticienne, Institut de systématique, évolution, biodiversité (MNHN, CNRS, Sorbonne université, EPHE, université des Antilles), Sorbonne université, France.

Léonnie Marcelline Voahanginirina, géographe, Centre national de recherches sur l'environnement, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Joel Vunzi, économiste, ONG de l'université libre de Bruxelles, ULB Coopération, Belgique.

Hilaire Macaire Womeni, laboratoire de biochimie des plantes médicinales et des sciences alimentaires et nutritionnelles, université de Dschang, Cameroun.

Konan Yao, ethnobotaniste, phytochimiste, Centre national de floristique, université Félix Houphouët-Boigny, Centre suisse de recherches scientifiques, Institut botanique d'Aké-Assi d'Andokoi, Côte d'Ivoire.

Gouvé Claver Yian, mycologue, laboratoire des systématiques, herbiers et musée botanique, Centre national de floristique, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Joseph Yoka, écologue, forestier, laboratoire de botanique et écologie, faculté des Sciences et Techniques, université Marien Ngouabi, Congo.

Liste des évaluateurs

Constant Yves Adou Yao, botaniste, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Blandine Akendengué, pharmacien, pharmaco-chimiste, université des Sciences de la santé de Libreville, Gabon.

Stéphanie Ardila-Chauvet, écologue, programme « Sud Expert Plantes Développement durable », Institut de recherche pour le développement, France.

Marie-Louise Avana Tchientcheu, biotechnologiste des plantes, université de Dschang, Cameroun.

Didier Babin, agronome, Expertise France, France.

Issouf Bamba, écologue végétal et du paysage, université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Claire Billot, généticienne, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Jean-Philippe Boutrais, géographe, Institut de recherche pour le développement, École des hautes études en sciences sociales, France.

Pierre Champy, phytochimiste, ethnopharmacologiste, université Paris Sud-Paris Saclay, France.

Pierre Charmetant, agronome, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Éric Chenin, informaticien, Institut de recherche pour le développement, France.

Pierre Couteron, écologue forestier, Institut de recherche pour le développement, France.

Éric Deharo, pharmacien, Institut de recherche pour le développement, Laos.

Maïté Delmas, botaniste, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Laurent Gautier, botaniste, écologue, Jardin et conservatoire botaniques de Genève, Suisse.

Thomas Haevermans, botaniste, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Thi My Hahn Diep, écologue, université nationale de Ho Chi Minh Ville, Viet Nam.

Dominique Hervé, forestier, Institut de recherche pour le développement, France.

Kagoyire Kamanzi, botaniste, université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.

Kouami Kokou, écologue forestier, université de Lomé, Togo.

Adzo Dziffa D. Kokutse, anatomiste technologie du bois, université de Lomé, Togo.

Mamidou Witabouna Kone, phytochimiste, ethnopharmacologie, Centre suisse de recherche scientifique, université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire.

Annick Koulibaly, botaniste, agroforestier, université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire.

Fanch Le Hir, botaniste, consultant indépendant, France.

Thierry Leroy, généticien, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Joël Loumeto, botaniste, université Marien Ngouabi, Congo.

Chantal Menut, chimiste des huiles essentielles, université Montpellier, France.

Jean-François Molino, botaniste, écologue, Institut de recherche pour le développement, France.

Serge Muller, botaniste, écologue, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Pamphile Nguema Ndoutoumou, amélioration des plantes, Institut de recherches agronomiques et forestières, Gabon.

François N'guessan Kouamé, botaniste écologue, université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire.

Guillaume Odonne, ethnopharmacologue, Centre national de la recherche scientifique, France.

Allassane Ouattara, botaniste, université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire.

Odile Poncy, botaniste, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Jean-Pierre Profizi, botaniste, programme « Sud Expert Plantes Développement durable », Institut de recherche pour le développement, France.

Heriniaina Ramanankierana, microbiologiste, Centre national de recherches sur l'environnement, Madagascar.

Claudine Ramiarison, géographe de la biodiversité, Centre d'information et de documentation scientifique et technique, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Madagascar.

Anshuman Singh Rana, agronome, programme « Sud Expert Plantes Développement durable », Institut de recherche pour le développement, France.

Hery Lisy Tiana Ranarijaona, botaniste, université de Mahajanga, Madagascar.

Catherine Reeb, botaniste, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Bernard Riera, biogéographe, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Véronique Rossow, économiste des substances naturelles, consultante internationale, France.

Germinal Rouhan, botaniste, Muséum national d'histoire naturelle, France.

Bonaventure Sonke, botaniste, université Yaoundé 1, Cameroun.

Bernard Toutain, agropastoraliste, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France.

Bruno Vila, botaniste, Aix-Marseille université, France.

Maria Vorontsova, botaniste taxonomiste, Royal Botanic Gardens, Royaume-Uni.

Jean-Louis Weber, comptabilité environnementale et économique intégrée, consultant international, France-Danemark.

Konan Yao, ethnobotaniste, phytochimiste, université Félix Houphouët-Boigny, Centre suisse de recherches scientifiques, Institut botanique d'Aké-Assi d'Andokoi, Côte d'Ivoire.

Projets soutenus par le programme SEP (2006-2012)

Projets de recherche

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens pages projets
304	MOSSEBO Dominique	Contribution à l'étude taxonomique et phylogénique des champignons du Cameroun et de la République centrafricaine, potentiel alimentaire, industriel et pharmacologique	Cameroun	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_304
306	SYLLA Samba Ndao	Rôle et caractérisation des symbioses dans deux écosystèmes contrastés : le Sahel et la forêt tropicale humide	Sénégal	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_306
308	OUEDRAOGO R. Louis	Inventaire de la flore, état de la biodiversité et de la dynamique de la végétation des zones de montagne et des milieux aquatiques du Burkina Faso	Burkina Faso	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_308
313	OUL MOHAMED VALL	Évaluation de la flore de Mauritanie pour la réalisation d'un herbier national ; une recherche discriminatoire et conservatoire de la biodiversité	Mauritanie	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_313

[…]

[…]

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens pages projets
316	NOBA Kandioura	Inventaire et étude de la diversité des microphytes (cyanobactéries et micro-algues) et des plantes d'eau douce associées au Sénégal	Sénégal	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_316
321	KAMI Emile	Atlas de la conservation des arbres soumis à l'exploitation en Afrique Centrale (Cameroun, Congo, République centrafricaine)	Congo	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_321
332	KAMI Emile	Inventaire botanique de la réserve communautaire du lac Tele	Congo	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_332
335	BISSIENGOU Pulchérie	Prospections botaniques et relance du traitement des familles de la flore du Gabon	Gabon	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_335
336	ATTEKE NKOULEMBENE Christiane	Origine et structuration de la diversité génétique d'un arbre de la côte ouest africaine (Ozouga, *Sacoglottis gabonensis* ; Humiriaceae) PROJET ARRÊTÉ EN JUILLET 2010	Gabon	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_336
338	AHAMADI Daroussi Oili	Évaluation écologique des espèces végétales les plus utilisées dans l'Union des Comores	Comores	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_338
339	RABEVOHITRA Raymond	Inventaire floristique de deux écosystèmes de Madagascar : forêts ombrophiles de basse altitude sur les latérites et forêts fragilisées des Hautes Terres	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_339
342	RAHELIVOLOLONA M. Elisettte	Révision taxonomique des *Impatiens* (Balsaminacées) de Madagascar et des Comores	Madagascar	
344-2	RANARIJAONA Hery Lisy	Phylogénie du genre *Euphorbia*, groupe *Tetraptera* à Madagacar	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_344_2
347	RABARISON Harison	Étude systématique, écobiogéographique, ethnobotanique et évaluation du risque d'extinction afin d'établir une stratégie de conservation du genre *Cedrelopsis* (Ptaeroxylaceae)	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_347

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens pages projets
348	ROGER Edmond	Flore et végétation de la Montagne d'Ambre (nord de Madagascar)	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_348
349	DIEP My Hanh	Les bambous d'Indochine. Utilisation de l'informatique pour transmettre l'expertise taxonomique et les connaissances vernaculaires	Vietnam	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_349
350	TRAN Triet	*Botanical study of the family Zingiberaceae in Indochina (Cambodia, Laos and Vietnam)*	Vietnam	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_350
353	DANG LE Anh Tuan	Développement du logiciel d'identification pour les arbres et leur pollen, dans la région Sud-Est du Vietnam	Vietnam	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_353
354	HOANG Viet	Étude de l'architecture des conifères du Vietnam et de la région indochinoise	Vietnam	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_354
355	NANTHAVONG Khamseng	Étude des forêts du Laos	Laos	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_355
358	NOUBISSIE J-Baptiste	Domestication de *Balanites ægyptiaca* (L.) Del, *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. Rich. et *Sclerocarya* (A. Rich) Hochst. au Cameroun et au Burkina Faso	Cameroun	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_358
359	AKPO Léonard	Gestion et conservation des ligneux fourragers des parcours communautaires en Afrique de l'Ouest	Sénégal	arrêté en 2009
361	GUEYE Mathieu	Les végétaux utiles en milieu rural de l'Afrique de l'Ouest (Bénin, Guinée, Mali et Sénégal) : disponibilité ethnobotanique et intérêt des collections historiques de l'herbier de l'Ifan	Sénégal	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_361
374	GONMADJE Christelle	Variation de la biodiversité végétale en fonction de l'altitude dans le chaînon montagneux de Ngovayang (Sud-Cameroun)	Cameroun	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_374

[…]

[…]

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens pages projets
375	SONKE Bonaventure	Endémisme et conservation des Orchidaceae et des Rubiaceae en Afrique centrale atlantique	Cameroun	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_375
381	ROGER Edmond	Approche de la dynamique des écosystèmes forestiers de Madagascar et des Comores : application de la dendrochronologie aux espèces et aux forêts du domaine occidental malgaches et comoriennes	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_381
382	RAVELONANDRO Pierre	Rôle de la future réserve de la biosphère de Toliary dans la conservation de la biodiversité des plantes suculentes	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_382
393	YONGO Olga	Déterminants anthropiques de la biodiversité végétale des forêts denses de Centrafrique : approche ethno-écologique	RCA	arrêté en 2009
396	GHOGUE J-Paul	Arguments en faveur de la protection et de la conservation d'une famille de plantes vulnérables au Cameroun : les Podostemaceae	Cameroun	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_396
397	LY Viboth	Inventaire floristique des Monts Cardamomes en relation avec le gradient altitudinal et mise en évidence des espèces endémiques et plantes médicinales	Cambodge	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_397

Projets d'herbiers et de jardins botaniques

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens pages projets
203	SAADOU Mahamane	Projet d'herbier national pour le Niger	Niger	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_203
204	GUEYE Matthieu	Réhabilitation de l'herbier de l'Ifan : informatisation, numérisation et valorisation de la collection	Sénégal	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_204
206	KOKOU Kouami	Modernisation et renforcement des capacités de l'herbier national du Togo	Togo	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_206
208	ONANA Jean-Michel	Renforcement des conditions de gestion de l'herbier national du Cameroun	Cameroun	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_208
209	DONG A ETCHIKE	Renforcement des capacités de l'herbier de l'École de faune de Garoua	Cameroun	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_209
211	KAMI Emile	Renforcement des capacités opérationnelles de l'herbier national pour une meilleure connaissance et une utilisation durable des plantes au Congo	Congo	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_211
212	ENGONE OBIANG Nestor	Renforcement des capacités de l'herbier national du Gabon	Gabon	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_212
213	LUKOKI LUYEYE Félicien	Réhabilitation de l'*Herbarium* de Kinshasa	RDC	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_213
214	NDEJE MIANDA-BUNGI Lépold	Réhabilitation de l'herbier de Yangambi – République démocratique du Congo	RDC	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_214
216	BECHIR Ali Brahim	Renforcement des capacités de l'herbier du Laboratoire de recherches vétérinaires et zootechniques (LRVZ)	Tchad	arrêté en 2010
217	MOHAMED ABDEREMANE Andilyat	Mise en place d'un herbier de référence aux Comores	Comores	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_217

[…]

[…]

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens pages projets
218	RAPANARIVO Solo Hery J. Victor	Appui aux hebiers TAN du Parc botanique et zoologique de Tsimbazaza (PBZT) et REF du Département de recherches forestières et piscicoles (DRFP)	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_218
223-1	LIM Sidédine	Création et fonctionnement de l'herbier national cambodgien (RUPP) à de la faculté des Sciences à l'Université royale de Phnom Penh	Cambodge	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_223_1
223-2	YOK Lin	Sélection des duplicatas des spécimens indochinois de l'herbier de Paris pour leur rapatriement au Cambodge, au Laos et au Vietnam	Cambodge	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_223_2
225	RATTANAVONG Houmphanh	Création d'un Centre interdisciplinaire d'herbier national au Laos (CIHNL)	Laos	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_225
228	LUU Hong Truong	*Improving Services and Capacity of the National Herbarium of the Institute of Tropical Biology*	Vietnam	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_228
232	KOKOU Kouami	Aménagement du jardin botanique de l'Institut national de formation agricole de Tové pour le suivi et la gestion durable de la diversité biologique forestière	Togo	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_232_
239	RAPANARIVO Solo Hery J. Victor	Création d'un jardin botanique traditionnel au sein du Parc botanique et zoologique de Tsimbazaza (PBZT)	Madagascar	http://www.sud-expert-plantes.ird.fr/projets/dossier_239

Projets soutenus par le programme SEP2D (2015-2021)

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens vidéos	Liens pages projets
AAP1 – 23	Rondro BAOHANTA	Développement d'un pôle de compétence locale en matière de restauration écologique de la végétation originelle et de production de bois dans les surfaces exploitées par Qit Madagascar Minerals : importance des interactions biodiversité hypogée et épigée	Madagascar	https://vimeo.com/513326283/b3f6afa9ca	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/restauration-ecologique-madagascar
AAP1 – 42	Kouame Jean-Marc KOUMAN	Une reconstitution naturelle de la forêt classée du Haut-Sassandra après abandon des activités agricoles est-elle possible ?	Côte d'Ivoire	https://vimeo.com/497218008/bf29274fee	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/reconstitution-foret-haut-sassandra-cote-d-ivoire
AAP1 – 45	Adzo KOKUTSE	Mise au point d'une stratégie intégrée de reconstitution des peuplements naturels de *Pterocarpus erinaceus* Poir. en Afrique de l'Ouest	Togo, Bénin, Niger, Mauritanie	https://vimeo.com/498351790/c2bc1b6874	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/reconstitution-peuplement-pterocarpus-togo-benin-niger

[…]

[…]

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens vidéos	Liens pages projets
AAP1 – 55	Théophile FONKOU	Valorisation des plantes aromatiques et des plantes à usages cosmétiques du Cameroun suivant le principe d'accès et de partage de bénéfices (APA)	Cameroun	https://vimeo.com/497296531/dc0a7e1ff7	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/plantes-aromatiques-et-cosmetiques-cameroun
AAP2 – 21	Marie-Solange TIÉBRÉ	Diversité, connaissances endogènes et valorisation des champignons comestibles peu connus de la région du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire	Côte d'Ivoire	https://vimeo.com/491558839/f335e7cbb5	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/champignons-comestibles-cote-d-ivoire
AAP2 – 28	Solofoniaina RAZAFIMAHEFA	Conservation et valorisation de deux plantes médicinales endémiques malgaches : *Molinaea brevipes* et *Myrothamnus moschatus*	Madagascar		http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/plantes-medicinales-endemiques-madagascar
AAP2 – 75	Hasika MITH	Mise en évidence d'huiles essentielles et huiles grasses végétales issues de la biodiversité cambodgienne et valorisables dans les domaines pharmaceutique, cosmétique, nutraceutique et agro-alimentaire	Cambodge		http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/huiles-essentielles-et-huiles-grasses-cambodge
AAP2 – 81	Nestor ENGONE OBIANG	Régénération post-exploitation des essences commerciales dans les concessions forestières sous aménagement durable du Gabon	Gabon	https://vimeo.com/502139968/30c5ad66a3	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/regeneration-d-essences-commerciales-gabon

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens vidéos	Liens pages projets
AAP2 – 98	Herizo RANDRIAMBANONA	Utilisation du genre *Millettia* (Fabaceae) comme outil de restauration des zones dégradées par les projets miniers et leurs environs : création d'une nouvelle filière agro-industrielle génératrice de revenus permettant la gestion durable des ressources forestières	Madagascar	https://vimeo.com/513346885/2a9ea98192	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/utilisation-de-milletia-pour-la-restauration-ecologique-madagascar
AAP2 – 146	Oumarou ZANGO	Agrobiodiversité du palmier dattier dans le Sahel	Niger, Tchad	https://vimeo.com/504445218/00176877eb	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/agro-biodiversite-du-palmier-dattier-niger-tchad
AAP2 – 159	Fustelle MERINOSY	Réseau régional d'innovations pour l'amélioration génétique et la valorisation du karité	Bénin, Burkina Faso	https://vimeo.com/503490067/e17a24a2db	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-operationnelle/amelioration-genetique-et-valorisation-du-karite-benin-burkina-faso
AAP3 – 1	Ali BÉNÉ	Les palmiers *Borassus aethiopum* et *B. akeassii* dans l'ouest du Burkina Faso : répartition, usages actuels et histoire de la mise en culture	Burkina Faso		http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/palmiers-borassus-burkina-faso
AAP3 – 5	Dominique Claude MOSSEBO	Contribution à l'inventaire et à la valorisation de la biodiversité fongique en Afrique centrale : identification, phylogénie moléculaire, valeur nutritionnelle et potentiel pharmacologique des champignons du Cameroun et de la République démocratique du Congo.	Cameroun, République démocratique du Congo	https://vimeo.com/497296816/1a62e51067	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/biodiversite-fongique-d-afrique-centrale-cameroun-rdc

[…]

[…]

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens vidéos	Liens pages projets
AAP3 – 21	Mijoro RAKOTOARINIVO	*Setting up an action plan for the conservation of the Palms of Madagascar*	Madagascar	https://vimeo.com/499116912/4be5e8ed06	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/conservation-des-palmiers-madagascar
AAP3 – 45	Yao ADOU	Diversité végétale et dynamique de la végétation dans le parc national d'Azagny (sud-est de la Côte d'Ivoire)	Côte d'Ivoire	https://vimeo.com/503101331/195a06f37a	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/vegetation-du-parc-national-d-azagny-cote-d-ivoire
AAP3 – 46	Solofo RAKOTONDRAOMPIANA	Comptabilité écosystémique du capital naturel, outil de gestion de la biodiversité – Madagascar et Comores	Madagascar, Comores, Burundi	https://vimeo.com/504770152/bb0aa29535	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/comptabilite-ecosystemique-madagascar-comores
AAP3 – 53	Moussa DIABATE	Les plantes forestières utiles en Guinée forestière. Inventaire des espèces et usages – Contribution des espèces à la subsistance et aux revenus des populations urbaines et rurales	Guinée	https://vimeo.com/503527495/353191367f	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/plantes-forestieres-utiles-guinee
AAP3 – 55	Ndjido KANE	Rôle de la diversité intraspécifique sur la productivité et la stabilité des agrosystèmes en Afrique de l'Ouest	Sénégal		http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/diversite-intraspecifique-des-agrosystemes-senegal
AAP3 – 64	Kifouli ADEOTI	Gestion durable des ressources génétiques du palmier *Borassus aethiopum* Mart. en Afrique de l'Ouest : phylogéographie, diversité génétique, et gap de conservation	Bénin, Burkina Faso	https://vimeo.com/508414399/d77f570622	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/gestion-durable-borassus-aethiopum-benin-burkina-faso

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens vidéos	Liens pages projets
AAP3 – 96	Oudomphone INSISIENGMAY	*Botanical study of the Eriocaulaceae, Bambusoideae (Gramineae) and Zingiberaceae in Indochina (Cambodia, Laos and Vietnam)*	Laos, Vietnam, Cambodge	https://vimeo.com/507116360/3855aba3f3	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/eriocaulaceae-bambusoideae-et-zingiberaceae-laos-vietnam-cambodge
AAP3 – 97	Matthieu CHABANNES et Ngoc-Sâm LY	*Characterisation of Banana biodiversity in South-East Asia using GBS and banana streak virus integrations*	Vietnam	https://vimeo.com/498024626/d8cf8fc661	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/biodiversite-de-la-banane-vietnam
AAP3 – 108	Christelle GONMADJE	Diversité, biogéographie des forêts submontagnardes d'Afrique centrale atlantique et leur déterminants	Cameroun, Gabon		http://www.sep2d.org/projets-soutenus/recherche-scientifique/forets-submontagnardes-d-afrique-centrale-cameroun-gabon
AAP4 – 16	Solo RAPANARIVO	Collections botaniques patrimoniales de Madagascar : valorisation, pérennisation des conditions de conservation et partage des données des herbiers TAN et TEF (CHerMada)	Madagascar	https://vimeo.com/503408923/b06630f334	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/collections-patrimoniales-madagascar
AAP4 – 17	Pulchérie BISSIENGOU	*Digitalisation for collection management of the National Herbarium of Gabon*	Gabon	https://vimeo.com/489835391/f666a1440d	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/numerisation-herbier-national-gabon
AAP4 – 39	My Hanh DIEP	Collections des bambous du Vietnam : appui pour la conservation, l'informatisation et la valorisation	Vietnam	https://vimeo.com/477489762/1e3d296196	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/collections-des-bambous-vietnam

[…]

[…]

N° du projet	Porteur de projet	Titre du projet	Pays	Liens vidéos	Liens pages projets
AAP4 – 43	Kouassi Bruno KPANGUI	Modernisation et renforcement de capacités des herbiers de Côte d'Ivoire	Côte d'Ivoire	https://vimeo.com/499566149/ed3ab2ad8e	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/herbiers-de-cote-d-ivoire
AAP4 – 44	Mohamed Fatoumata DIABATE	Réhabilitation et valorisation du jardin botanique Portères de l'Institut de recherches agronomique de Guinée (Irag), Sérédou, Guinée forestière	Guinée	https://vimeo.com/504711877/80ac44dc2e	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/jardin-botanique-porteres-guinee
AAP4 – 59	Libalah MOSES	Curation, gestion et développement des collections écologiques liées au réseau de parcelles permanentes d'Afrique centrale (Curcolec-AC)	Cameroun, République démocratique du Congo		http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/collections-ecologiques-cameroun-rdc
AAP4 – 61	Jean-Marie MOUTSAMBOTE	Renforcement des capacités opérationnelles de l'herbier national pour une meilleure connaissance et une utilisation durable des plantes au Congo	Congo		http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/herbier-national-du-congo
AAP4-62	Raymond UMAZEKABIRI	*National Herbarium of Rwanda Upgrading and Digitizing Project + projet idem au Burundi*	Rwanda	https://vimeo.com/502513849/19a42742a3	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/herbier-national-rwanda
AAP4-62 bis	Joël NDAYISHIMIYE	*National Herbarium of Burundi Upgrading and Digitizing Project*	Burundi	https://vimeo.com/491189778/37848308be	http://www.sep2d.org/projets-soutenus/collections-botaniques/herbier-national-rwanda

Liste des masters

N° dossier	Nom porteur	Pays	Université	Master
1	ADOMOU Aristide Cossi	Bénin	Université d'Abomey-Calavi	Biologie végétale appliquée
3	BONZI Schémaéza	Burkina Faso	Université Nazi Boni	Protection Intégrée des cultures tropicales
15	NGUETSOP Victor François	Cameroun	Université de Dschang	Biologie végétale
9	MAMADOU Cherif	Côte d'Ivoire	Université Félix Houphouët-Boigny	Biotechnologies, biosécurités et bioressources
20	RAKOTOARIMANANA Vonjison	Madagascar	Université d'Antananarivo	Diagnostic, suivi écologique et aménagement des écosystèmes et de l'environnement
28	RADIFISON Verohanitra	Madagascar	Université d'Antananarivo	Systématique et gestion durable de la diversité végétale
19	RAHELIVOLOLONA Marie Elisette	Madagascar	Université de Mahajanga	Sciences de la vie et de l'environnement
29	YONGO Olga	République centrafricaine	Université de Bangui	Biodiversité végétale
10	MATE MWERU Jean-Pierre	République démocratique du Congo	ERAIFT Kinshasa et université de Kisangani	Technique d'aménagement forestier
13	LELE NYAMI Bonaventure	République démocratique du Congo	Université de Kinshasa	Gestion des ressources naturelles (faune, flore et foresterie)
12	LOUMETO Joël	République du Congo	Université Marien Ngouabi	Biologie et physiologie végétales
33	THIAM Massamba	Sénégal	Université de Thiès	Foresterie et environnement pour une gestion durable des ressources naturelles
4	CHARAHABIL Mohamed Mahamoud	Sénégal	Université Assane Seck de Ziguinchor	Aménagement et gestion durable des écosystèmes forestiers et agroforestiers

Imprimé en France sur les presses d'Estimprim
25110 Autechaux
Dépôt légal : janvier 2022

Dans un monde confronté aux changements climatiques et à des pandémies en lien avec la destruction des milieux naturels, les enjeux liés à la préservation de la biodiversité sont dorénavant bien connus et ont donné lieu à des accords internationaux majeurs, comme le protocole de Nagoya.

Dans ce contexte mondial, les recherches menées au Sud sont primordiales. Les contributions rédigées ici par des chercheurs d'Afrique, de l'océan Indien, d'Asie du Sud-Est et d'Europe traduisent la vigueur de la recherche sur la biodiversité dans les pays intertropicaux francophones. Documenter la diversité des écosystèmes végétaux locaux, mieux connaître les savoirs traditionnels et les utilisations populaires des plantes ou des champignons, valoriser le rôle des collections botaniques, mais aussi identifier des chaînes de valorisation économique responsables, gérer durablement les écosystèmes et leurs ressources, élaborer des outils stratégiques pour une gouvernance environnementale basée sur la science et, enfin, montrer la nécessité de l'implication citoyenne et de l'ensemble des acteurs concernés, tels sont les grands thèmes déclinés ici.

Cet ouvrage collectif intéressera tous ceux qui travaillent sur la biodiversité des écosystèmes intertropicaux. Il souligne la nécessité d'une science de l'action au service du développement durable.

Cet ouvrage est une contribution du programme Sud Expert Plantes Développement Durable (SEP2D) qui, pour faire face à l'urgence écologique et contribuer à l'atteinte des objectifs mondiaux d'une gestion de la diversité durable et équitable, a rassemblé un réseau de plus de 3 000 acteurs des pays francophones du Sud. La démarche de collaboration encouragée par ce programme a montré la pertinence des partenariats entre recherche, enseignement et société, ainsi que la nécessité d'un financement pérenne pour contribuer à la mise en œuvre du cadre mondial pour la conservation de la biodiversité, notamment au travers de la restauration des écosystèmes.

38 €

www.editions.ird.fr
ISSN 2431-7128
ISBN 978-2-7099-2938-7
9 782709 929387