

AGROFORESTERIE ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES EN ZONE TROPICALE

Josiane Seghieri et Jean-Michel Harmand, coordinateurs



Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale

Recherche de compromis
entre services d'approvisionnement
et autres services écosystémiques

Josiane Seghieri et Jean-Michel Harmand,
coordinateurs

Éditions Quæ

Collection Update Sciences & Technologies

Systèmes agraires et changement
climatique au Sud

H. Cochet, O. Ducourtieux,
N. Garambois, coord.

2018

Trente années d'observation
des microalgues et des toxines
d'algues sur le littoral

C. Belin, D. Soudan

2018

Stratégies des filières fromagères
sous AOP en Europe

Modes de régulation

et performance économique

P. Jeanneaux

2018

Services écosystémiques

et protection des sols

Analyses juridiques

et éclairages agronomiques

C. Hermon, coord.

2018

Paroles de chercheurs

Environnement et interdisciplinarité

E. Brun, J.-F. Ponge, J.-C. Lefeuvre

2017, 124 p.

Démanteler les barrages

pour restaurer les cours d'eau

Controverses et représentations

R. Barraud, M.-A. Germaine, coord.

2017, 260 p.

Construire des politiques

alimentaires urbaines

Concepts et démarches

C. Brand, N. Bricas, D. Conaré,

B. Daviron, J. Debru, L. Michel,

C.-T. Soulard, coord.

2017, 160 p.

Éditions Quæ

RD 10, F-78026 Versailles Cedex

© Quæ, 2019

ISBN (Pdf) : 978-2-7592-3059-4

ISBN (ePub) : 978-2-7592-3060-0

Cet ouvrage est sous licence CC-by-NC-ND. Vous êtes autorisé à partager — copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats selon les conditions suivantes :

– attribution — Vous devez créditer l'œuvre et indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'éditeur et l'auteur vous soutiennent ou soutiennent la façon dont vous avez utilisé l'œuvre.

– pas d'utilisation commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette œuvre, tout ou partie du matériel la composant.

– pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'œuvre originale, vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'œuvre modifiée.

– pas de restrictions complémentaires — Vous n'êtes pas autorisé à appliquer des conditions légales ou des mesures techniques qui restreindraient légalement autrui à utiliser l'œuvre dans les conditions décrites par la licence.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/>

Table des matières

Préface	7
Préambule	9
Remerciements	11
Introduction	13

Jean-Michel Harmand et Josiane Seghier

PARTIE 1

LES SYSTÈMES AGROFORESTIERS À BASE DE CULTURES PÉRENNES : CAFÉIERS ET CACAOYERS

A - Systèmes à base de caféiers

Chapitre 1. Pressions environnementalistes et stratégies des agriculteurs dans les systèmes agroforestiers caféiers au Nicaragua et au Costa Rica	23
--	----

Sibelet N., Fréguin-Gresh S., Le Coq J.-F., Gutiérrez Montes I., Laffourcade R., Dhorne S., Dorgans-Cadilhac J., Baranger M. et Constanty M.

Chapitre 2. Suivi des services écosystémiques dans un observatoire de caféiers agroforestiers. Recommandations pour la filière du café	37
---	----

Roupsard O., Allinne C., Van den Meersche K., Vaast P., Rapidel B., Avelino J., Jourdan C., Le Maire G., Bonnefond J.-M., Harmand J.-M., Dauzat J., Albrecht A., Chevallier T., Barthès B., Clément-Vidal A., Gomez-Delgado F., Charbonnier F., Benegas L., Welsh K., Kinoshita R., Vézy R., Pérez-Molina J.-P., Kim J., Taugourdeau S., Defrenet E., Nespoulous J., Rançon F., Guidat F., Cambou A., Soma M., Mages C., Schnabel F., Prieto I., Picart D., Duthoit M., Rocheteau A., Do F., de Melo Virginio Filho E., Moussa R., Le Bissonnais Y., Valentin C., Sanchez-Murillo R., Roumet C., Stokes A., Vierling L., Eitel J., Dreyer E., Saint-André L., Malmer A., Loustau D., Isaac M., Martin A., Priomé A., Eberling B., Madsen M., Robelo A., Robelo D., Borgonovo C., Lehner P., Ramirez G., Jara M., Acuña Vargas R., Barquero A., Fonseca C. et Gay F.

Chapitre 3. Régulation des bioagresseurs du caféier par le couvert arboré au Costa Rica ...	57
--	----

Allinne C., Boudrot A., De Melo E., Granados E., Merle I., Pico J., Vonthron S. et Avelino J.

Chapitre 4. Simulation participative pour explorer le rôle des politiques sur la production de services environnementaux au Costa Rica et au Nicaragua 67
Le Coq J.-F., Bonifazi M., Aucante M., Ferrand N., Fréguin-Gresh S., Rapidel B. et Sibelet N.

B – Systèmes à base de cacaoyers

Chapitre 5. Les cacaoyères agroforestières au Centre et au Sud du Cameroun : diversité et dynamique 85
Michel I., Carrière S.-M., Manga Essouma F., Bihina M.A., Blanchet A., Moisy C., Ngono F. et Levang P.

Chapitre 6. Compromis entre séquestration de carbone, conservation et productivité dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers au Centre-Cameroun 99
Saj S., Jagoret P., Mvondo Sakouma K., Essobo J.-D., Bouambi E. et Todem-Ngogue H.

Chapitre 7. Structures spatiales et régulation des bioagresseurs des agroforêts à cacaoyers au Cameroun et au Costa Rica113
Ngo Bieng M.A., Gidoïn C. et Ten Hoopen G.M.

PARTIE 2

**LES PARCS AGROFORESTIERS ARBORES ET ARBUSTIFS
À BASE DE CULTURES ANNUELLES EN AFRIQUE DE L’OUEST**

A – Les parcs arborés

Chapitre 8. La crise du parc arboré à karité : exemple de Djougou au Bénin129
Bidou J.-É., Koukperé A. et Droy I.

Chapitre 9. Consommation en eau d’une espèce agroforestière en zone soudanienne147
Awessou Kohomlan G.-B., Peugeot C., Agbossou E. et Seghier J.

Chapitre 10. Impacts du karité sur les ressources du sol et la production d’une culture de maïs associée dans un parc agroforestier soudanien du Nord-Est du Bénin 159
Clermont-Dauphin C., Séguis L., Velluet C., Degbé M., Cournac L. et Seghier J.

B – Les parcs arbustifs

Chapitre 11. La régénération naturelle assistée dans le bassin arachidier du Sénégal, une alternative pour réduire la pauvreté en milieu rural175
Sanogo D., Camara Baba A., Diatta Y., Coly L., Diop M., Badji M. et Binam J.-N.

Chapitre 12. Les cultures vivrières associées aux arbustes natifs : un modèle adapté au climat sahélien191
Chapuis-Lardy L., Badiane Ndour N.Y., Assigbetse K., Diédhiou I., Balaya R., Cournac L., Founoune-Mboup H., Mc Spadden Gardener B., Ghezzehei T., Jourdan C., Bright M.B., Bogie N., Debenport S., Delay C., Diakhaté S., Sambou D.M. et Dick R.P.

Chapitre 13. Contribution des arbustes au fonctionnement hydrique et carboné des parcs agroforestiers à *Guiera senegalensis* J.F. Gmel : observations et modélisation 205
Issoufou H. B.-A., Demarty J., Cappelaere B., Allies A., Velluet C., Mainassara I., Oï M., Chazarin J.-P., Moussa Moumouni R. et Seghier J.

PARTIE 3

EXEMPLES D'ANALYSES TRANSVERSALES AU REGARD DE LA DIVERSITÉ
DES SYSTÈMES AGROFORESTIERS TROPICAUX

Chapitre 14. Déterminants socio-économiques des dynamiques des systèmes agroforestiers	219
<i>Pédelahore P., Droy I., Bidou J.-E., Freguin-Gresh S., Sibelet N. et Le Coq J.-F.</i>	
Chapitre 15. Régulation des bioagresseurs des cultures dans les systèmes agroforestiers tropicaux, revue des approches	237
<i>Bagny Beilhe L., Allinne C., Avelino J., Babin R., Brévault T., Gidoïn C., Ngo Bieng M.A., Motisi N., Soti V. et Ten Hoopen G.M.</i>	

Préface

La publication de cet ouvrage collectif «*Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale*» nous paraît essentielle pour alerter les décideurs sur l'importance et l'urgence d'encourager et d'accompagner le développement de l'agroforesterie en milieu tropical afin de résoudre durablement les problèmes de sécurité alimentaire, environnementaux et économiques que rencontrent quotidiennement les populations rurales.

Cet ouvrage nous conforte et corrobore notre démarche naturaliste et empirique de terrain. En effet, l'Association pour la promotion des arbres fertilitaires, de l'agroforesterie et de la foresterie (Apaf) a comme vocation principale de former les paysannes et paysans à l'implantation d'arbres fertilitaires (principalement de la famille des légumineuses) dans leurs champs cultivés. Depuis les années 1990, l'Apaf a favorisé l'association de ces arbres aux cacaoyers, caféiers, palmiers, bananiers, arbres fruitiers et aux cultures vivrières dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre (environ 8 millions d'arbres implantés). Une grande partie de ces systèmes est traitée par les auteurs de cet ouvrage. Nous les félicitons pour l'ensemble des analyses exposées et espérons qu'ils aient, dans l'avenir, les moyens nécessaires pour poursuivre leurs recherches dans ce domaine.

Face au changement climatique, à la perte de biodiversité, à la déforestation, à l'appauvrissement des sols et à la dégradation des conditions de vie des populations rurales des zones tropicales, l'association des scientifiques et des acteurs de la société civile telle que l'Apaf nous paraît primordiale pour permettre la diffusion à grande échelle de techniques agroforestières innovantes en milieu paysan. L'accroissement de la résilience des systèmes agricoles, des paysages et des moyens d'existence des populations face aux changements globaux (climatiques, démographiques, économiques) en dépend.

Puisse cet ouvrage participer à la promotion de l'agroforesterie tant auprès des scientifiques que des agents de développement, des bailleurs et du grand public.

*Pour l'Apaf,
Pascal Humbert, Président d'Apaf internationale
et Bruno Devresse, Directeur exécutif d'Apaf internationale*

Préambule

Pratiques traditionnelles des agricultures familiales dans de nombreuses régions tropicales et tempérées, les systèmes agroforestiers ont été « redécouverts » par les organismes de recherche nationaux et internationaux il y a quelques décennies en Afrique comme en Asie ou en Amérique latine.

L'ouvrage coordonné par le Cirad et l'IRD, tous deux organismes de recherche pour le développement, examine des projets menés dans des contextes variés et avec de nombreux partenaires. Il combine des approches scientifiques et des disciplines complémentaires afin d'analyser le fonctionnement de différents systèmes agroforestiers, avec un intérêt plus particulier sur les systèmes agroforestiers à caféiers et cacaoyers et les parcs agroforestiers des régions sèches africaines.

Les études présentées font bien ressortir la multifonctionnalité et la diversité des biens et des services produits par les systèmes agroforestiers analysés. Elles replacent ces systèmes dans des trajectoires d'innovation et d'adaptation portées par celles et ceux qui les construisent et les gèrent.

Les différents chapitres de l'ouvrage montrent en quoi ces systèmes agroforestiers, développés par les paysans pour répondre à leurs besoins et contraintes locales spécifiques, se révèlent en phase avec les visées des grandes conventions internationales, notamment celles portant sur la biodiversité, le changement climatique et la désertification. Ces systèmes peuvent contribuer à plusieurs des 17 « Objectifs du développement durable », en particulier aux objectifs « Faim zéro (2) », « Consommation et production responsables (12) », « Lutte contre les changements climatiques (13) », et « Vie terrestre (15) ».

L'ouvrage rappelle enfin l'apport nécessaire de recherches pluridisciplinaires et multipartenariales, contributions majeures pour un développement par la recherche au service des sociétés et de leurs populations.

Bernard Mallet, ancien directeur du département des forêts du Cirad, actuellement rattaché à la direction générale déléguée recherche et stratégie

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en priorité aux auteurs et co-auteurs, dont on trouvera la liste en fin de volume. Nous remercions également l'équipe de coordination éditoriale pour son appui constant.

Nous remercions particulièrement les relecteurs des articles qui ont permis la réalisation de cet ouvrage : Clémentine Allinne, Tiphaine Chevalier, Hubert de Foresta, Jean-Michel Harmand, Patrick Jagoret, Patrice Levang, Maud Loireau, Olivier Planchon, Josiane Seghieri, Alain Ratnadass, Olivier Rousard, Georges Serpantié et Philippe Thaler.

Nous tenons à remercier également tous les chercheurs, les techniciens, les acteurs de terrain, les agriculteurs, etc., impliqués dans la réalisation des études qui ont abouti à la publication de cet ouvrage, ainsi que les personnes et les organismes qui ont contribué à leur financement.

Introduction

JEAN-MICHEL HARMAND ET JOSIANE SEGHIERI

►► Contexte

L'agroforesterie est un système de gestion des ressources naturelles qui, grâce à l'intégration des arbres dans les exploitations agricoles, permet de diversifier et soutenir la production, et d'accroître la résilience des paysages et des moyens d'existence en milieu rural. L'agroforesterie compte parmi les pratiques d'exploitation des terres qui existent depuis des siècles sur tous les continents. De très nombreux agriculteurs des pays tropicaux en vivent. Selon Lundgren et Raintree (1982), la gestion des systèmes agroforestiers repose sur la recherche de la durabilité d'une production diversifiée en valorisant les interactions écologiques, économiques et sociales existant entre les composantes de ces systèmes. L'agroforesterie constitue l'une des solutions d'utilisation durable de ressources naturelles limitées et d'adaptation aux changements globaux démographiques, économiques et climatiques. En multipliant les strates végétales, cette pratique permet d'augmenter la diversité des espèces, des habitats, des modes d'occupation de l'espace, des fonctions et des fonctionnements écologiques. Les rythmes d'utilisation des ressources environnementales sont aussi accrus car ces dispositifs améliorent la captation, la fixation, l'utilisation et le recyclage *in situ* de ces ressources.

Cependant, il ne faut pas sous-estimer la complexité de la structure et du fonctionnement des systèmes agroforestiers, en particulier celle des interactions entre les arbres et les cultures associées. En effet, cette complexité repose sur les principes de fonctionnement des écosystèmes naturels, notamment forestiers. La viabilité de ces écosystèmes dépend donc de la connaissance de ces principes et de la maîtrise des facteurs qui contrôlent leurs productions multiples. Moins consommateurs d'intrants et d'énergie que les systèmes agricoles conventionnels, ces systèmes combinent des

services écologiques et des productions diverses qui contribuent à la sécurité alimentaire, économique et foncière des exploitants, notamment les petits exploitants des pays tropicaux. Les systèmes agricoles, quels qu'ils soient, sont sources de services écosystémiques, mais aussi de «disservices» tels que la perte de biodiversité, la pollution agrochimique, l'érosion des sols, l'émissions de gaz à effet de serre (Power, 2010). Comparativement aux systèmes agricoles conventionnels, les systèmes agroforestiers déplacent cet équilibre fonctionnel vers la fourniture de services. Dans les associations agroforestières, les services d'approvisionnement (productions) dépendent, entre autres, de l'impact de la strate arborée sur le rendement de la culture de base et des productions complémentaires multiples fournies par cette strate arborée. Les services de régulation — en particulier ceux du cycle et de la qualité de l'eau, du climat à travers le contrôle des émissions de gaz à effet de serre et le stockage de carbone — y sont favorisés. Enfin, selon leur composition, leur structure et leur gestion, les systèmes agroforestiers contribuent de façon plus ou moins importante aux services de support des services précédents. Parmi ces services de support, on peut citer : la production primaire, le contrôle des bioagresseurs, la conservation des sols, les cycles des nutriments et la préservation de la biodiversité.

L'agroforesterie contribue ainsi à la mise en place ou au maintien de paysages multifonctionnels résilients face au changement climatique. En diversifiant les productions et les revenus, les systèmes agroforestiers réduisent la vulnérabilité des agriculteurs face à la volatilité des prix des denrées. De ce fait, ils sont une composante essentielle du patrimoine des ménages transmis de génération en génération. La sécurisation foncière est d'ailleurs un préalable à leur maintien sur le long terme et à la possibilité de rétribution des services environnementaux qu'ils fournissent.

L'agroforesterie constitue l'une des solutions potentielles à mettre en œuvre pour faire face au défi de l'intensification écologique des agroécosystèmes en permettant de produire plus et mieux avec peu d'intrants, tout en s'adaptant au changement climatique. Cependant, le potentiel d'amélioration de la production agricole *via* les systèmes agroforestiers est encore peu exploré, notamment pour optimiser leur fonctionnement sur le long terme.

► Objectif de l'ouvrage

Cet ouvrage a pour ambition de documenter l'évaluation des performances agronomiques, environnementales et économiques des systèmes agroforestiers tropicaux. Plus particulièrement, sont étudiés les impacts de la structure, de la composition et de la gestion de ces systèmes agroforestiers sur les services écosystémiques fournis (approvisionnement et autres services). Sont documentés les interactions, compromis et synergies entre ces services afin de proposer des scénarios réalistes d'amélioration de ces systèmes. Une analyse des déterminants socio-économiques des dynamiques des systèmes agroforestiers est également présentée pour les différents cas d'étude.

Les études ont été menées par des chercheurs du Cirad, de l'IRD et des principales institutions partenaires des pays en développement en zone tropicale à partir de différents projets et dans le cadre de dispositifs en partenariat (DP) «Agroforesterie Cameroun», «Systèmes agroforestiers à base de cultures pérennes en Amérique

centrale» (AFS-PC). Elles ont été également menées au sein d'observatoires collaboratifs multidisciplinaires de projets comme :

- Coffee-flux (Observatory for monitoring and modeling carbon, nutrients, water and sediment ecosystem services in coffee agroforestry systems) au Costa Rica;
- Amma-Catch (Analyse multidisciplinaire de la mousson africaine - Couplage de l'atmosphère tropicale et du cycle hydrologique) en Afrique de l'Ouest;
- le projet Cirad-IRD sur la « Recherche de compromis entre productions et autres services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers tropicaux (Safse, 2012-2015);
- les projets de la National science foundation (NSF). Partnerships for international research and education (PIRE, 2001-2008 et PIRE 2010-2017);
- des projets de l'Agence nationale française pour la recherche (ANR), « Élevage-climat-société » (Eclis, 2009-2012; Ecosfix, 2011-2014), « Environmental and social changes in Africa: past, present and future » (Escape, 2011-2015), « Modélisation pour l'accompagnement des acteurs, vers l'adaptation des couverts pérennes ou agroforestiers aux changements globaux » (Macacc 2014-2016);
- les projets européens « Mise en relation des services environnementaux et de la valeur marchande de l'agroforesterie caféière » (Cafnet, 2007-2010), « L'agroforesterie au service de la sécurité alimentaire » (AFS4Food 2012-2015).

Les activités concernées s'appuient sur des dispositifs de recherche localisés dans des situations particulièrement contrastées.

» Structure de l'ouvrage

La première partie de l'ouvrage traite des systèmes agroforestiers à base de cultures pérennes — caféiers (chapitres 1 à 4) et cacaoyers (chapitres 5 à 7) — très répandus dans les zones tropicales humides. La deuxième partie de l'ouvrage concerne les parcs agroforestiers arborés (chapitres 8 à 10) et arbustifs (chapitres 11 à 13) à base de cultures annuelles dans les zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest. La troisième partie de l'ouvrage donne deux exemples d'analyse transversale au regard de la diversité des systèmes agroforestiers : les déterminants socio-économiques de leur dynamique (chapitre 14) et la régulation des bioagresseurs (chapitre 15).

Une première thématique porte sur les stratégies et impacts des acteurs sur la structure et la dynamique spatiale des systèmes agroforestiers au regard de leur diversité et des services écosystémiques qu'ils fournissent (chapitres 1, 4, 5, 8, 11 et 15) :

- le chapitre 1 (Sibelet *et al.*) compare les impacts des pressions environnementalistes au Costa Rica et au Nicaragua. Au Costa Rica où les systèmes de production et niveaux socio-économiques sont relativement homogènes, le discours environnementaliste des agriculteurs est souvent en décalage avec leurs pratiques. Au Nicaragua les pressions environnementalistes se heurtent à une grande diversité de situations et aux priorités de survie des populations;
- le chapitre 4 (Le Coq *et al.*) propose une approche participative et prospective conçue et mise en œuvre dans deux zones de production de café, au Costa Rica et au Nicaragua, pour tester l'intérêt de certains instruments incitatifs de pratiques agricoles pourvoyeuses de services environnementaux;

- le chapitre 5 (Michel *et al.*) montre l'évolution des structures des plantations de cacaoyers au Centre et au Sud du Cameroun et dans différentes situations biogéographiques. Ainsi, des agroforêts cacaoyères multistrates semblables au modèle ancien se maintiennent, se transforment en partie ou continuent de s'étendre. Parallèlement, des structures plus simples se développent. Elles sont essentiellement portées par de nouveaux investisseurs dans la cacao-culture de rente ;
- le chapitre 8 (Bidou *et al.*) montre que les dynamiques en cours peuvent contribuer à expliquer comment, malgré une demande importante en karité sur le marché international, beaucoup de parcs à karité sont en voie de dégradation au Bénin. Pour parvenir à cette démonstration, les auteurs lient les évolutions du parc à karité aux changements sociaux, en particulier à la répartition de la gestion de la ressource et des terres entre les hommes et les femmes ;
- le chapitre 11 (Sanogo *et al.*) évalue les avantages socio-économiques que les ménages agricoles tirent de la régénération naturelle assistée dans deux zones agroclimatiques du Sénégal : le centre-nord et le centre-sud du bassin arachidier. Il analyse également les contraintes naturelles, anthropiques et institutionnelles de l'adoption de cette régénération naturelle assistée ;
- le chapitre 14 (Pedelahore *et al.*) montre qu'au-delà des spécificités de chacune des neuf situations analysées au Bénin, au Cameroun, au Costa Rica, au Kenya et au Nicaragua, il existe des récurrences dans les dynamiques observées et dans leurs déterminants socio-économiques établis en fonction de quatre grandes classes : les stratégies des exploitants agricoles, la disponibilité en ressources, les caractéristiques des marchés et les régulations en vigueur dans la zone étudiée. Généralement, les grands producteurs disposant de capitaux réduisent la couverture arborée pour privilégier la culture principale. Les petits producteurs développent des services agroforestiers variés permettant la diversification des produits vivriers et marchands, ainsi qu'une réduction des risques alimentaires et commerciaux.

La deuxième thématique porte sur les interactions et les compromis existant entre productions, conservation de la biodiversité végétale, séquestration du carbone et régulation des flux hydriques au sein des services agroforestiers (chapitres 2, 6, 9 et 13) :

- le chapitre 2 (Roupsard *et al.*) synthétise un grand nombre de résultats multidisciplinaires obtenus sur le long terme (observatoire Coffee-flux) dans une ferme caféière sous légumineuse arborée au Costa Rica. Il montre que la gestion du caféier pourrait être améliorée par des tailles appropriées, l'ajustement de l'ombrage et des apports d'intrants. On peut ainsi obtenir une production plus efficiente en termes d'utilisation de l'énergie, de l'eau et des nutriments, en particulier de l'azote. Des propositions d'amélioration de l'évaluation des bilans de carbone des fermes caféières sont également issues de ces résultats ;
- le chapitre 6 (Saj *et al.*) analyse les compromis existant entre les trois services — production de cacao, conservation des espèces ligneuses et stockage de carbone dans les systèmes agroforestiers du Centre du Cameroun — en soulignant la synergie entre les deux services de régulation et l'antagonisme de ces derniers avec le rendement accessible en cacao. Néanmoins, se dégagent des compromis intéressants entre des niveaux moyens à élevés de diversité végétale et de stockage de carbone, ainsi que des rendements en cacao performants lorsque des pratiques adéquates sont adoptées ;

– le chapitre 9 (Awessou *et al.*) montre qu'en considérant seulement la transpiration du couvert du karité estimée dans une jachère de dix ans en zone soudanienne, la marge de densification des arbres dans les champs de céréales est potentiellement élevée. En effet, la transpiration reste très faible par rapport aux précipitations et à la demande évaporative annuelles (moins de 2%);

– le chapitre 13 (Issoufou *et al.*) démontre, dans un site sahélien au Niger, la plus grande contribution à l'évapotranspiration réelle et la plus grande capacité de production des rejets de *Guiera senegalensis* rabattus chaque année en champs par rapport aux arbustes matures de la même espèce en jachère.

La troisième thématique traite du rôle des couverts arborés dans la régulation des bioagresseurs des cultures associées (chapitres 3, 7 et 15) :

– le chapitre 3 (Allinne *et al.*) analyse, dans des systèmes agroforestiers à base de caféiers au Costa-Rica, les effets des interactions entre l'ombrage et les conditions microclimatiques, entre l'ombrage et le cycle de vie d'un agent pathogène (la rouille du caféier), entre des bioagresseurs du complexe parasitaire et entre des auxiliaires et des bioagresseurs. Il montre aussi qu'un ombrage optimal peut réduire l'impact total du cortège de bioagresseurs;

– le chapitre 7 (Ngo Bieng *et al.*) démontre, au Costa Rica et au Cameroun, comment la répartition spatiale des individus (arbres et cacaoyers) influence l'intensité d'attaque de bioagresseurs du cacaoyer (moniliose au Costa Rica et mirides au Cameroun). Comparativement à une distribution agrégée des arbres forestiers, des distributions régulières ou aléatoires réduisent les intensités d'attaque des bioagresseurs;

– le chapitre 15 (Bagny Beilhe *et al.*) synthétise un ensemble d'études sur les mécanismes de régulation des maladies et des ravageurs menées dans des systèmes agroforestiers à base de caféiers, de cacaoyers et de mil au Cameroun, au Costa Rica, au Kenya et au Sénégal. Il met en évidence l'effet de la composition et de l'organisation spatiale de la biodiversité associée sur les bioagresseurs, l'effet de l'ombrage sur le développement des bioagresseurs, l'effet de la biodiversité végétale, aux échelles parcelle et paysage, sur les communautés d'ennemis naturels des bioagresseurs et leur efficacité à réguler leurs populations.

La quatrième thématique traite des interactions entre les arbres ou les arbustes et les cultures associées au regard des ressources du sol, de la production et du rendement de la culture (chapitres 10 et 12) :

– le chapitre 10 (Clermont-Dauphin *et al.*) évalue, dans un système agroforestier au Nord-Est du Bénin, les effets en apparence paradoxaux du karité sur les ressources du sol (eau, nutriments et carbone) et sur le rendement de la culture de maïs associée. Cette évaluation met en évidence un plus faible rendement de la culture sous l'arbre et un effet positif de l'arbre sur la matière organique du sol à l'échelle de la parcelle;

– le chapitre 12 (Chapuis-Lardy *et al.*) dresse le bilan de quinze années de recherches sur le fonctionnement des sols des systèmes agroforestiers sahéliens au Sénégal associant mil-arachide et arbustes natifs (*Guiera senegalensis* ou *Piliostigma reticulatum*). Ces travaux démontrent l'effet significatif d'« îlots de fertilité » autour des arbustes. Ces îlots sont propices au développement de communautés microbiennes (bactéries et champignons) impliquées dans la fourniture d'éléments nutritifs et la régulation de certains bioagresseurs (nématodes phytophages) au bénéfice d'une

meilleure croissance et d'un meilleur rendement de la culture associée encore améliorable par une gestion appropriée.

En résumé, les différentes études présentées dans cet ouvrage quantifient et qualifient la contribution positive des strates arborées des systèmes agroforestiers à un grand nombre de services écosystémiques tels que la diversification des productions, l'amélioration du microclimat, la qualité et la santé des sols, le stockage de carbone, la régulation des bioagresseurs des cultures et la conservation des espèces.

Ainsi, se dégagent de ces études des possibilités de compromis intéressants et de fortes synergies entre le rendement de la culture de base et les autres services écosystémiques. Ces compromis et ces synergies plaident en faveur du maintien et d'une gestion adaptée des couverts arborés dans les systèmes agroforestiers pour une production durable. Néanmoins, les études sur la dynamique temporelle et spatiale des systèmes agroforestiers mettent en évidence des tendances à la réduction des couverts liée à des pratiques d'intensification et à des changements d'acteurs ruraux, conduisant ainsi à des pertes de services écosystémiques et de résilience de ces systèmes. Des politiques publiques favorisant l'agroforesterie sous des formes prenant en compte les priorités des populations concernées pourraient s'appuyer sur différents mécanismes tels que les incitations réglementaires, la rétribution de services environnementaux, l'appui et le conseil ou encore la labellisation des produits. Aussi, la structuration et la sécurisation des filières concernées par les systèmes agroforestiers permettraient également d'éviter leur conversion totale en monocultures de rente, provoquée par des opportunités nouvelles offertes par les marchés.

► Bibliographie

Lundgren B.O., Raintree J.B., 1982. Sustained agroforestry. In: Nestel B., (ed). *Agricultural research for development: potentials and challenges in Asia*. The Hague: Isnar, 37-49.

Power A.G., 2010. Ecosystem services and agriculture: trade-offs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: Biological sciences*, 365: 2959-2971.

► Les auteurs

Harmand Jean-Michel

Cirad, UMR-Eco&Sols, Yaoundé, Cameroun ;
Université de Montpellier, Cirad, Inra, IRD,
Montpellier SupAgro, Montpellier France ;
World Agroforestry (Icraf), Yaoundé, Cameroun
jean-michel.harmand@cirad.fr

Seghieri Josiane

Université de Montpellier, CNRS, IRD,
UMR-HydroSciences, Montpellier, France
josiane.seghieri@ird.fr