



AGRICULTURES
ET DÉFIS DU MONDE
Collection Cirad-AFD

La transition agro-écologique des agricultures du Sud

F.-X. Côte, E. Poirier-Magona,
S. Perret, P. Roudier,
B. Rapidel, M.-C. Thirion,
éditeurs



éditions
Quæ

Table des matières

Couverture

La transition agro-écologique des agricultures du Sud

Préface

Remerciements

Introduction

Partie 1 - Études de cas

Chapitre 1 - Co-concevoir des systèmes de polyculture-élevage innovants en zone cotonnière au Burkina Faso

Chapitre 2 - L'agro-écologie à Madagascar : de la plante au paysage

Chapitre 3 - L'agroforesterie : des pratiques diversifiées pour la transition agro-écologique de la cacaoculture africaine

Chapitre 4 - Des filets anti-insectes pour faciliter la transition agro-écologique en Afrique

Chapitre 5 - Accompagner les acteurs de la transition agro-écologique au Laos

Chapitre 6 - La transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises

Chapitre 7 - Développement de systèmes agro-écologiques horticoles à la Réunion

Chapitre 8 - L'accompagnement de la transition agro-écologique dans les systèmes agroforestiers d'Amérique centrale

Chapitre 9 - De nouvelles variétés pour des systèmes caféiers agroforestiers innovants

Partie 2 - Focus thématiques

Chapitre 10 - Les moteurs du développement de l'agro-écologie en Afrique subsaharienne : illustration sur les Hautes Terres malgaches

Chapitre 11 - Des processus de régulation naturelle à l'innovation technique, quelles solutions agro-écologiques pour les agricultures du Sud ?

Chapitre 12 - Évaluation des compromis entre enjeux environnementaux et socio-économiques dans les systèmes agro-écologiques

Chapitre 13 - Agro-écologie et changement climatique : des liens intimes et porteurs d'espoir

Chapitre 14 - L'écologisation de l'agriculture au prisme de l'innovation collaborative

Chapitre 15 - Quelles dynamiques marchandes pour promouvoir la transition agro-écologique ?

Chapitre 16 - Les dispositifs territoriaux : des biens communs pour construire la transition agro-écologique

Chapitre 17 - Politiques publiques d'appui à l'agro-écologie en Amérique latine : leçons et perspectives

Chapitre 18 - Transition agro-écologique des agricultures des pays du Sud : retours d'expériences et perspectives

Liste des encadrés

Liste des auteurs

Liste des sigles

La transition agro-écologique des agricultures du Sud

François-Xavier Côte, Emmanuelle Poirier-Magona, Sylvain Perret, Bruno Rapidel, Philippe Roudier, Marie-Cécile Thirion, éditeurs

© éditions Quæ, 2018

ISBN papier : 978-2-7592-2822-5

ISBN PDF : 978-2-7592-2823-2


ISBN ePub : 978-2-7592-2824-9

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex



www.quae.com 



Pour toutes questions, remarques ou suggestions : quae-numerique@quae.fr 

www.quae.com 

La série *Agricultures et défis du monde* présente annuellement un ouvrage issu des travaux de recherche que le Cirad mène pour le développement durable des agricultures du monde tropical. Elle est coéditée par les

Éditions Quæ, l'AFD et le Cirad. Cette série est dirigée par Patrick Caron du Cirad.

Le Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) est un centre de recherche français qui répond, avec les pays du Sud, aux enjeux internationaux de l'agriculture et du développement. Il produit et transmet, en partenariat avec ces pays, de nouvelles connaissances pour accompagner le développement agricole et contribuer aux débats sur les grands enjeux mondiaux de l'agriculture, de l'alimentation et des territoires ruraux. Le Cirad dispose d'un réseau mondial de partenaires et de directions régionales, à partir desquelles il mène des activités de coopération avec plus de quatre-vingt-dix pays.

Cirad

42 rue Scheffer, 75116 Paris

www.cirad.fr 

L'AFD, Agence française de développement, est un établissement public qui agit depuis soixante-dix ans pour combattre la pauvreté et favoriser le développement dans les pays du Sud et dans l'Outre-mer français. Elle met en œuvre une politique définie par le gouvernement français.

Présente sur le terrain dans plus de plus de 110 pays, l'AFD s'engage sur des projets qui améliorent concrètement le quotidien des populations, dans les pays en développement, émergents et l'Outre-mer et accompagne la transition vers un monde plus sûr, plus juste et plus durable : scolarisation, santé maternelle, appui aux agriculteurs et aux petites entreprises, adduction d'eau, préservation de la forêt tropicale, lutte contre le réchauffement climatique...

Agence française de développement

5 rue Roland-Barthes, 75598 Paris Cedex 12, France

www.afd.fr 

Référence bibliographique

Côte F.-X., Poirier-Magona E., Perret S., Rapidel B., Roudier P., Thirion M.-C. (eds), 2018. *La Transition agro-écologique des agricultures du Sud*, Agricultures et défis du monde, AFD, Cirad, éditions Quæ, Versailles, 368 p.

Préface

Aujourd'hui, le monde continue à produire de la nourriture en s'appuyant principalement sur les principes de la révolution verte. La majeure partie de cette production est ainsi basée sur des systèmes d'exploitation à forte intensité d'intrants et de ressources, ce qui coûte évidemment cher à notre environnement. De cette façon, le sol, les forêts, l'eau, la qualité de l'air et la biodiversité continuent de se dégrader. Et cette course vers une production à tout prix n'a pas porté entièrement ses fruits puisqu'aujourd'hui la faim reste une dure réalité à l'échelle planétaire. Et ce, bien que nous produisons aujourd'hui globalement plus que suffisamment pour nourrir tout un chacun. Parallèlement à cette situation révoltante, nous assistons à une épidémie mondiale d'obésité. Cette conjoncture est insoutenable et nous nous devons de promouvoir une transformation de la manière dont nous produisons et consommons les aliments. Il nous faut concevoir des systèmes alimentaires durables qui non seulement offrent une alimentation saine mais qui préservent aussi l'environnement.

Depuis une dizaine d'années, l'agro-écologie suscite un intérêt toujours croissant et représente, d'après de nombreux acteurs, une approche stratégique qui permettra de mener à bien cette transition vers des systèmes agricoles et alimentaires plus durables.

Dans ce contexte, la FAO a organisé une série de séminaires multi-acteurs sur l'agro-écologie entre 2014 et 2018. Ces événements ont proposé aux différentes parties de faire le point sur les multiples facettes de l'agro-écologie et d'en mettre en lumière le rôle bénéfique. Ces événements, riches en échanges et en débats, ont suscité une importante mobilisation de la société civile et de la recherche. Ce fut l'occasion pour ces acteurs de clairement montrer leur attente en matière de soutien institutionnel renforcé autour de l'agro-écologie. Ils ont ainsi illustré combien l'agro-écologie, bien qu'étant une démarche cadrée scientifiquement depuis le siècle dernier, reste une approche vivante et forte, dépendante du contexte. Cette mobilisation a généré dans son sillage un dynamisme et un grand espoir autour de l'agro-écologie et des réponses que ce nouveau modèle peut apporter face à tous les défis traduits dans les 17 Objectifs du Programme de développement durable à l'horizon 2030. Pour traduire ce

dialogue sur l'agro-écologie en action, une initiative qui permettrait de passer à l'échelle supérieure a été lancée par la FAO et ses partenaires des Nations Unies à l'occasion du second Symposium international sur l'agro-écologie en avril 2018. Nous saluons d'ailleurs la France pour son engagement exemplaire en matière d'agro-écologie et pour son soutien constant à la FAO dans ce domaine.

La politique mise en place par la France en faveur de l'agro-écologie est en effet exceptionnelle car elle aborde l'ensemble des leviers nécessaires pour favoriser la transition agro-écologique, de la production à la consommation, en passant par une transformation du système d'enseignement, de recherche et d'innovation. À ce titre, les organisations de recherche et de développement françaises apportent un appui scientifique et méthodologique remarquable pour le développement de l'agro-écologie au niveau international. C'est la raison pour laquelle nous avons, en ce début d'année 2018, renforcé notre coopération avec les instituts de recherche et d'enseignement supérieur français sous la forme d'un contrat-cadre de partenariat. Ce contrat est centré sur les pays en développement et vise à appuyer la transition agro-écologique comme une solution parmi d'autres pour atteindre la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans le contexte du changement climatique.

L'ouvrage présenté ici, qui présente les retours d'expérience de dix ans de travaux du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) et de l'Agence française de développement (AFD), capitalise une expertise extrêmement précieuse, illustre des initiatives réussies en Afrique, Asie et Amérique Latine, pour nous guider dans la transition vers l'agro-écologie. Il fait bénéficier le lecteur de l'excellence des travaux de recherche du Cirad sur la valorisation de la biodiversité dans les agrosystèmes, l'optimisation des cycles biogéochimiques, la gestion à l'échelle du paysage et du territoire, ainsi que l'évaluation et la création de systèmes de production permettant de maximiser les services écosystémiques. L'analyse commune proposée par le Cirad et l'AFD nous montre aussi comment, au-delà du travail sur les agroécosystèmes, la transition agro-écologique doit passer par une phase d'innovation organisationnelle et institutionnelle, comprenant une approche globale de l'ensemble du système agricole et alimentaire, afin d'enclencher une transformation vers une production et une consommation plus durables.

Je me réjouis donc de la parution de cet ouvrage de très grande qualité, dont la publication tombe à point nommé puisqu'elle contribuera à faire avancer les réflexions et les actions de la FAO et de l'ensemble de ses partenaires, et servira, de ce fait, à faire progresser l'agro-écologie pour ainsi permettre à cette approche de passer à une échelle supérieure, ce qui nous rapprochera de la réalisation du plan d'action pour l'humanité, la planète et la prospérité : le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et ses 17 Objectifs de développement durable.

José Graziano da Silva
Directeur général
Organisation des Nations unies
pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Remerciements

Nos remerciements s'adressent aux 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 et les membres du comité de pilotage qui ont permis la réalisation de cet ouvrage.

– Les relecteurs : Patrick Caron, François-Xavier Côte, Guy Faure, Christian Gary, Étienne Hainzelin, Magalie Jannoyer, Sylvain Perret, Emmanuelle Poirier-Magona, Bruno Rapidel, Philippe Roudier, Éric Scopel, Nadine Zakhia-Rozis.

– Les membres du comité de pilotage : Estelle Bienabe, Patrick Caron, François-Xavier Côte, Étienne Hainzelin, Anne Hébert, Claire Jourdan-Ruf, Jean-Louis Noyer, Sylvain Perret, Emmanuelle Poirier-Magona, Philippe Roudier, Jean-Michel Sourisseau, Emmanuel Torquebiau.

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

Introduction

Le récent retour de l'agriculture dans les agendas internationaux, comme pivot du développement dans les pays du Sud et comme contributeur majeur à l'atteinte de nombreux objectifs du développement durable, est acté. S'il confirme que les agricultures des pays du sud doivent répondre aux besoins alimentaires et économiques des populations rurales et urbaines, s'ajoute désormais à cet agenda une série de nouvelles priorités, imposées par les dynamiques en œuvre : préserver les ressources et les écosystèmes, favoriser le développement territorial et l'emploi des jeunes ruraux, répondre aux demandes d'un marché largement globalisé, contribuer à la santé et au bien-être des populations par la qualité et la diversité des produits, s'adapter au changement climatique... Ces exigences nouvelles requièrent des transitions inédites et rapides.

De telles transformations doivent s'opérer dans un contexte extrêmement mouvant et incertain, marqué d'une part, par les évolutions de la démographie, de l'urbanisation de nombreux pays du Sud et de la demande alimentaire des consommateurs, et d'autre part, par la faiblesse des investissements et des services publics à l'agriculture, par la mondialisation des échanges et des investissements privés et l'emprise des agro-industries, et enfin par une dégradation fréquente des conditions de la production agricole dans les pays du Sud (climats contrastés, conditions favorables au développement des bioagresseurs, sols appauvris et fragiles, déficit en eau lié au dérèglement climatique...).

Les différentes formes d'agriculture du sud doivent en outre évoluer sans reproduire les impasses et les impacts négatifs — sociaux, nutritionnels et environnementaux — des modèles productivistes de la révolution verte.

Dans ce contexte, de nouvelles pratiques agro-écologiques émergent. Elles sont fondées sur la mobilisation des fonctionnalités écologiques des agro-systèmes, l'optimisation des processus naturels, et sur la gestion sobre des ressources. L'agro-écologie ne saurait cependant être réduite à un ensemble de pratiques techniques. Sa démarche correspond à un changement de paradigme qui répond aux préoccupations des citoyens et des consommateurs quant à leur nutrition, leur santé, celle des écosystèmes, l'équité et la responsabilité sociale et environnementale. Elle

appelle à renouveler la perception des performances des systèmes de production et de transformation, et requiert une autre logique d'innovation. Du modèle agricole promu par la révolution verte à celui de l'agro-écologie, on passe d'une logique prescriptive « descendante » du changement technique, basée sur la mise en œuvre de paquets techniques standardisés, à une logique d'innovation soutenue par un réseau d'acteurs divers, dont les producteurs eux-mêmes, et basée sur l'analyse des contextes et des besoins locaux, le développement à l'échelle de territoires des solutions biologiques, techniques et institutionnelles les plus adaptées.

Le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) et l'Agence française de développement (AFD), dans le cadre de leurs mandats respectifs de recherche et d'aide au développement des pays du Sud, explorent les possibilités de développement de systèmes fondés sur les principes scientifiques de l'agro-écologie. Plusieurs dizaines de projets de recherches et de développement de la transition agro-écologique en partenariat ont ainsi été conduits par ces deux organismes ces dernières années, principalement en Afrique, à Madagascar et dans l'océan Indien, en Asie du Sud-Est, en Amérique latine, aux Antilles.

Cet ouvrage rend compte de quelques-uns de ces travaux de recherche-développement qui s'inscrivent tous dans une démarche générale de recherche-action, participative, territorialisée, visant à la co-production de plusieurs biens communs : des connaissances (savoirs scientifiques et endogènes), des pratiques, des partenariats (groupements, réseaux, plateformes d'innovation, opérateurs...), des compétences (formation, augmentation du capital social, développement des savoirs par la formation, les échanges et l'apprentissage), et finalement des démarches d'innovation elles-mêmes.

L'ouvrage est organisé en deux sections principales.

La première partie décrit neuf cas d'études concernant la mise en œuvre de systèmes ou de pratiques agro-écologiques par les producteurs, la recherche et différents acteurs du développement dans différents contextes de productions dans les pays du Sud : les systèmes de polyculture-élevage au Burkina Faso ; les cultures vivrières à Madagascar ; la cacao-culture en système agroforestier en Afrique subsaharienne ; les filets pour protéger les cultures maraîchères des bioagresseurs en Afrique ; la transition agro-écologique au Laos ; les systèmes de cultures de bananiers pour la

réduction de l'utilisation de pesticides aux Antilles ; les systèmes horticoles agro-écologiques à la Réunion ; les systèmes agroforestiers à base de caféiers en Amérique centrale ; le développement de variétés de caféiers adaptées à ces systèmes. Ces retours d'expérience permettent de discuter les déterminants de la transition agro-écologique, les solutions techniques et organisationnelles identifiées, les performances atteintes par les nouveaux systèmes.

La seconde partie réunit dans huit articles thématiques un ensemble de réflexions sur les conditions de mise en œuvre de la transition agro-écologique : les déterminismes du développement de l'agro-écologie ; les processus de régulation naturelle à mobiliser pour des solutions agro-écologiques ; la biodiversité en appui au développement des systèmes agro-écologiques ; l'évaluation des performances dans ces systèmes ; l'agro-écologie et le changement climatique ; l'écologisation de l'agriculture au prisme de l'innovation collaborative ; les dynamiques marchandes pour promouvoir la transition agro-écologique ; les dispositifs territoriaux pour construire la transition agro-écologique. Dans ces différents articles sont présentés et discutés les déterminants de la transition agro-écologique, la généralité des approches techniques, organisationnelles et collaboratives mobilisées pour cette transition dans différents contextes des pays du Sud.

En conclusion, sont présentés les principaux enseignements tirés des travaux du Cirad, de l'AFD et de leurs partenaires concernant la mise en œuvre de la transition agro-écologique. Sont en particulier discutés dans cette synthèse : la façon dont les agricultures du sud dans leur grande diversité peuvent toutes être concernées par la transition agro-écologique, les trajectoires diverses que peut emprunter cette transition, la généralité des leviers biophysiques et organisationnels de la transition. Enfin, cette synthèse évoque les nouveaux défis à relever pour la poursuite et les conditions de l'expression de la transition agro-écologique à une échelle significative.

Partie 1

Études de cas

CHAPITRE 1

Co-concevoir des systèmes de polyculture-élevage innovants en zone cotonnière au Burkina Faso

Éric Vall, Mélanie Blanchard, Kalifa Coulibaly, Souleymane Ouédraogo, Der Dabiré, Jean-Marie Douzet, Patrice K. Kouakou, Nadine Andrieu, Michel Havard, Eduardo Chia, Valérie Bougouma, Mahamoudou Koutou, Médina-Sheila Karambiri, Jethro-Balkewnde Delma, Ollo Sib

Dans l'ouest du Burkina Faso, les producteurs sont confrontés à une forte variabilité pluviométrique et à des prix agricoles très volatiles (Cooper *et al.*, 2008). De telles incertitudes ont conduit l'immense majorité d'entre eux à diversifier la production et à pratiquer la polyculture-élevage à bas niveaux d'intrants, pour garantir leur autosuffisance alimentaire tout en limitant les risques économiques. Leurs systèmes de polyculture-élevage sont basés sur le coton, les céréales (maïs, sorgho), les légumineuses (arachide, niébé), et l'élevage de bovins et de petits ruminants (Vall *et al.*, 2006).

Les producteurs ont longtemps privilégié une stratégie d'extension des cultures et du cheptel, tant que des espaces étaient disponibles pour étendre les surfaces agricoles et pour trouver de nouveaux pâturages (Milleville et Serpantié, 1994). Mais à mesure que la population et la pression foncière ont augmenté, les producteurs ont mis en œuvre des stratégies

d'intensification de la production agricole (Ouédraogo *et al.*, 2016 ; Jahel *et al.*, 2017). L'intensification de la production devait leur permettre de maintenir voire d'augmenter les niveaux de production pour répondre à l'accroissement de la demande locale en produits agricoles (Bricas *et al.*, 2016). Les politiques agricoles et les opérateurs du développement ont fortement encouragé cette intensification pour atteindre la sécurité alimentaire et accroître les exportations[1]. Cela s'est traduit par la réduction des jachères, le passage à la culture continue, le surpâturage, le recours accru aux intrants de synthèse (Vall *et al.*, 2017). Les producteurs ont aussi intensifié la production en renforçant l'association de l'agriculture et de l'élevage pour être plus autonomes en énergie agricole, en fourrages et en fumure organique. Mais l'augmentation persistante de la pression agricole et pastorale sur les ressources naturelles a contribué à dégrader et à fragiliser les ressources naturelles, entraînant une baisse de fertilité des sols (Bationo *et al.*, 2007), un appauvrissement des pâturages (Vall et Diallo, 2009), et un affaiblissement critique des potentiels de production et de renouvellement des agroécosystèmes.

Dans un tel contexte, la transition agro-écologique doit être favorisée pour diversifier et pour accroître durablement la production agricole, tout en préservant les agroécosystèmes. Mais ce type de transition implique des changements de pratiques agricoles profonds (Duru *et al.*, 2014 ; Tittonell, 2014) et par conséquent nécessite un travail de co-conception de systèmes agricoles innovants destiné à impliquer les producteurs dans l'expérimentation de nouvelles pratiques, dans leur évaluation, leur adaptation et à les accompagner dans ces changements (Cirad, 2016). C'est dans cette perspective que, depuis 2005, des travaux de co-conception de systèmes de polyculture-élevage innovants ont été mis en œuvre dans l'ouest du Burkina Faso pour analyser les interactions à l'œuvre entre la végétation, les troupeaux et les cultures à différentes échelles (exploitation, territoire), et pour rechercher des options d'optimisation de ces interactions afin de produire des effets d'intensification durables (Vall *et al.*, 2016).

Après avoir rappelé les principes de la co-conception de systèmes agricoles innovants, nous présenterons une synthèse des évolutions observées dans les systèmes de polyculture-élevage, puis nous exposerons des exemples de travaux de conception d'innovations agro-écologiques, techniques et organisationnelles, réalisés à l'échelle des territoires, des exploitations et des systèmes de production. En conclusion, nous tirerons les enseignements des succès et des échecs de ces travaux.

Dispositifs de co-conception de systèmes de polyculture-élevage innovants

Née de la rencontre entre une volonté de changement portée par des acteurs de terrain et des chercheurs désireux d'accompagner ces acteurs dans ce projet, la co-conception de systèmes polyculture-élevage innovants vise à produire des connaissances utiles et à mettre en place les apprentissages nécessaires pour que les acteurs soient en capacité de mener à bien leur projet de changement (Vall *et al.*, 2016).

La co-conception s'appuie en théorie sur des dispositifs multi-acteurs, composés d'adhérents volontaires et partenaires, reconnaissant un cadre éthique qu'ils ont eux-mêmes élaboré pour protéger les valeurs et les objectifs négociés au départ. Dans nos travaux, en pratique, nous nous sommes d'abord appuyés sur des Comités de concertation villageois (Koutou *et al.*, 2011) impliquant les producteurs dans leur diversité, les techniciens et conseillers agricoles et les chercheurs. Ayant constaté les limites d'un partenariat de proximité pour régler les questions soulevées par l'innovation qui dépendent aussi des acteurs des chaînes de valeurs intervenant en amont ou en aval des exploitations, et des acteurs impliqués dans la gouvernance des territoires, nous avons établi des plateformes d'innovation (Dabiré *et al.*, 2016) pour élargir le partenariat aux acteurs des filières et aux collectivités locales.

Sur le plan fonctionnel, la co-conception s'appuie aussi sur une démarche progressive et itérative comportant des phases d'exploration, de mise en œuvre du changement, et d'évaluation.

Dans la phase d'exploration, on cherche à comprendre les préoccupations et les attentes des acteurs de terrain, à travers des diagnostics réalisés à l'échelle des exploitations et des territoires pour analyser les pratiques des producteurs (causes, modalités, performances), afin d'identifier les changements en cours, les contraintes, et les jeux d'acteurs locaux. On explore aussi les moyens mis en œuvre par les acteurs pour résoudre les problèmes (savoirs et pratiques locales), et on fait l'inventaire des connaissances scientifiques disponibles pour répondre à ces problèmes. On peut s'appuyer sur des modèles informatiques pour explorer une large gamme de futurs possibles mettant en œuvre des changements profonds et pour évaluer *ex-ante* leurs effets sur les systèmes de polyculture-élevage par simulation, autrement dit pour étudier de façon systématique la

faisabilité des options voulues (Andrieu *et al.*, 2012). Des ateliers de restitution permettent de définir une représentation commune de la situation initiale et des problèmes à traiter, puis d'établir des liens entre les problèmes et leurs causes possibles, et enfin, de proposer des hypothèses de recherche et une première liste de solutions envisageables.

Dans la phase de mise en œuvre du changement, on choisit parmi les innovations possibles celles qui correspondent aux évolutions voulues, et donc compatibles avec les moyens disponibles, ce qui engage des réflexions sur la faisabilité de l'ensemble des innovations. Puis on élabore des protocoles d'expérimentation pour comparer les options choisies en spécifiant les engagements réciproques des acteurs sur les opérations à conduire. Enfin, on teste ces options chez les producteurs selon leur propre gestion, et on mesure leurs performances sur les critères définis avec les acteurs. Dans cette approche pas à pas de la co-conception, le producteur met progressivement au point un nouveau système, en même temps qu'il apprend à le piloter, se convainc de son intérêt, et réorganise son travail et ses moyens de production (Meynard *et al.*, 2012).

Dans la phase d'évaluation et de bilan, on retient les options qui maximisent les effets recherchés tout en minimisant les externalités négatives. L'évaluation *ex-post* consiste à vérifier si les objectifs fixés au départ ont été atteints ou pas en termes d'*outputs* (invention de nouveaux produits, de nouvelles technologies, de nouvelles organisations), d'*outcomes* (changement de pratiques ou de mode d'organisation) révélant chez les acteurs des apprentissages de savoir-faire et un renforcement de leur capacité à innover (changements de pratiques techniques ou organisationnelles...), et, si possible, en termes de premiers impacts. Un début d'adoption des principes innovants accrédite les hypothèses de départ et signe le succès du travail. À ce stade, les acteurs peuvent alors décider de se désengager du travail de co-conception. Mais parfois, quand certaines contraintes et ressources ont été omises lors du diagnostic, l'adoption ne se produit pas. Dans une telle situation, le travail de problématisation de la phase d'exploration doit être relancé.

Évolutions observées dans les systèmes de polyculture-élevage

Nous avons analysé les évolutions des systèmes de polyculture-élevage à

partir de diagnostics réalisés dans les phases d’exploration des travaux de co-conception. Nous présentons ci-après une synthèse des évolutions observées.

Globalement, les systèmes de polyculture-élevage de l’ouest du Burkina Faso sont encore à un stade peu avancé de la transition agro-écologique, si l’on se réfère au cadre d’analyse de cette transition proposé par Tittonell (2014). Ils se caractérisent par le maintien de l’usage d’intrants de synthèse à un niveau modéré, combiné à l’introduction de pratiques à caractère agro-écologique dans une logique d’éco-efficience ou de substitution partielle des intrants de synthèse par des processus écologiques.

Diversité et trajectoires d’évolution

Les premières études ont montré que les systèmes de polyculture-élevage ne formaient pas un ensemble homogène (Vall *et al.*, 2006). Il était dès lors évident que toute réflexion sur le changement technique dans ces systèmes devrait prendre en compte cette diversité pour répondre aux contraintes et aux possibilités des producteurs. Trois classes de systèmes de polyculture-élevage ont été identifiées (tab. 1.1) : les agriculteurs avec un système dominé par l’agriculture, majoritaires ($\frac{1}{28}$ 60 %), et de dimension variable (A1, A2, A3) ; les éleveurs, minoritaires ($\frac{1}{28}$ 20 %), avec un système dominé par l’élevage bovin de taille variable (E1, E2) et une agriculture vivrière ; et les agro-éleveurs (AE), minoritaires ($\frac{1}{28}$ 20 %), cultivant de grandes surfaces et propriétaires d’un cheptel important.

Tableau 1.1. Typologie de structure des systèmes de polyculture-élevage (établie sur un échantillon de 350 exploitations de l’ouest du Burkina Faso enquêtées en 2008).

Groupes	Classes	Cheptel bovin (têtes)	Surface cultivée (ha)	Pourcentage (%)
Agriculteurs	A1	< 10	< 5	18
	A2		5,1-10	26
	A3		> 10,1	16
Agro-éleveurs	AE	> 10	> 7,5	20
Éleveurs	E1	10-29	< 7,5	5

Éleveurs	E2	> 30	< 7,5	15

Nous avons ensuite réalisé une caractérisation des trajectoires des différentes catégories de systèmes de polyculture-élevage, afin de mieux comprendre les évolutions en cours, et ainsi voir si elles présentaient certains aspects d'une transition agro-écologique. Ce travail a été réalisé sur un échantillon d'une quarantaine d'exploitations comprenant ces trois catégories. Les données ont été collectées par enquêtes rétrospectives sur trois périodes : l'installation de l'exploitation, le présent de l'exploitation, le futur à moyen terme envisagé par le chef d'exploitation. L'analyse était basée sur des variables de structure et s'est appuyée sur une analyse multivariée (voir Vall *et al.*, 2017, pour les détails de la méthode). La figure 1.1 présente les trajectoires d'évolution simplifiées des différentes catégories de systèmes de polyculture-élevage.

La figure 1.1 montre que, depuis leur installation, l'extension des surfaces, l'augmentation du cheptel et de l'équipement sont des objectifs unanimement recherchés par les producteurs. Elle montre aussi que les producteurs comptent les poursuivre dans le futur, et ce malgré un contexte foncier de plus en plus contraint. Chez les agriculteurs, c'est surtout l'extension des cultures qui domine : chez les agriculteurs A1-2, l'évolution est modeste, voire problématique dans certains cas avec une décapitalisation du maigre cheptel ; chez les agriculteurs A3, on semble avoir la situation présente des agro-éleveurs en ligne de mire. Chez les éleveurs, l'augmentation du cheptel polarise clairement la trajectoire d'évolution. Quant aux agro-éleveurs, c'est surtout l'extension des cultures qui domine entre l'installation et le présent, puis c'est l'augmentation du cheptel qui prime dans le futur grâce à la capitalisation des surplus agricoles dans le bétail.

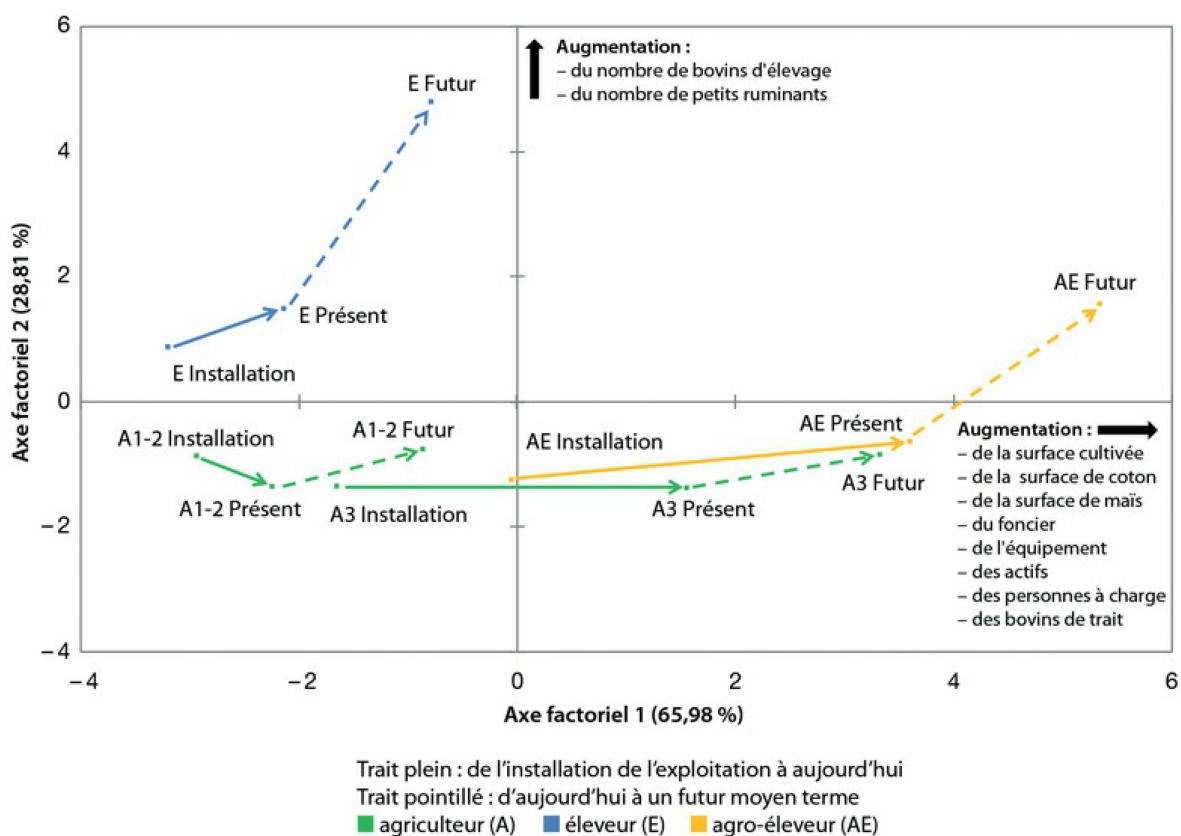


Figure 1.1 Trajectoires d'évolution simplifiées des systèmes de polyculture-élevage.

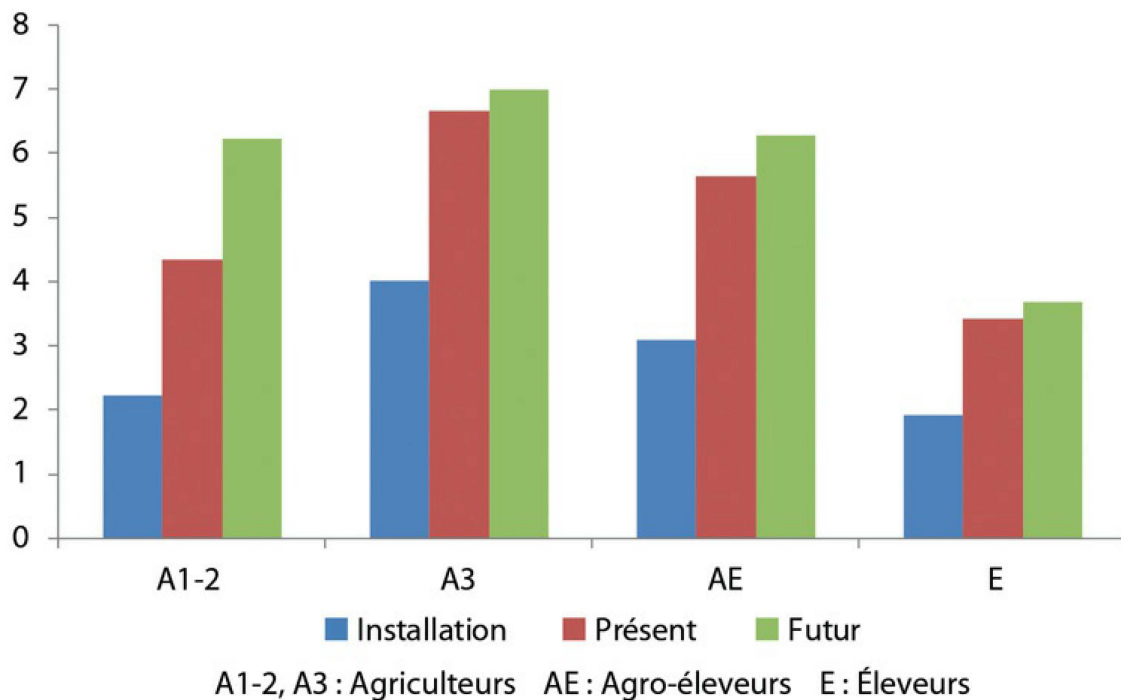
Les sous-catégories d'agriculteurs A1 et A2 ont été fusionnées ainsi que celles des agro-éleveurs E1 et E2. Voir tab. 1.1 pour plus de détails sur les caractéristiques des sous-classes de systèmes de polyculture-élevage.

Évolution des pratiques agricoles

Au niveau des pratiques agricoles, nos travaux ont montré les évolutions suivantes : une tendance à la diversification des cultures, un recours accru aux intrants de synthèse (engrais, pesticides), et concomitamment un renforcement de l'association de l'agriculture et de l'élevage.

Au niveau des assolements (fig. 1.2a et b), les producteurs diversifient davantage les cultures pour élargir leurs sources de revenus, et pour répondre à l'émergence de nouveaux marchés (riz, sésame, soja, tournesol, etc.). La diversification observée ne traduit pas encore une pratique agro-écologique, d'autant plus que cette diversification se fait en cultures pures et sur des toutes petites surfaces de l'assolement encore largement dominé par le cotonnier et le maïs.

a. Nombre de cultures dans l'assolement



b. Proportion de surface (en %)

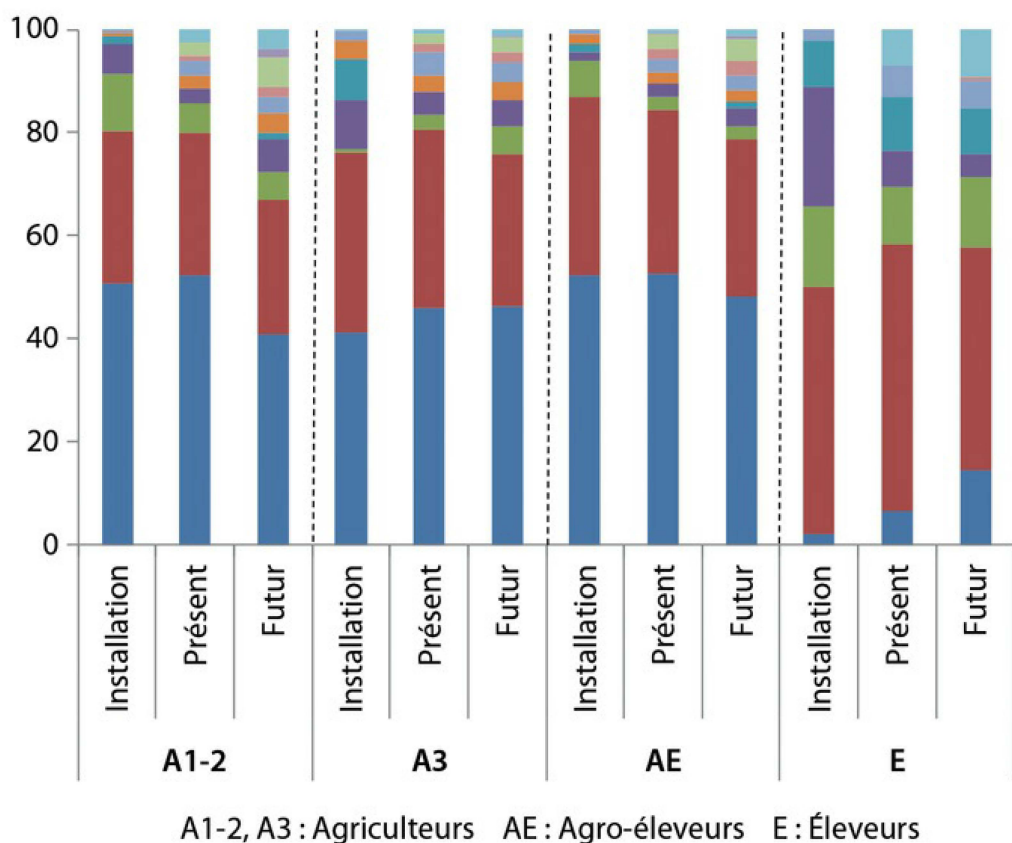


Figure 1.2. Évolution du nombre de cultures (a), évolution de

l'assolement (b) selon la catégorie de systèmes de polyculture-élevage.

Les producteurs ont davantage recours aux intrants de synthèse tels que les engrais minéraux (NPK et urée), les herbicides et les insecticides. Pour les engrais minéraux, ce changement a été observé dans toutes les classes d'exploitation. Les producteurs, qui utilisaient les engrais minéraux de façon marginale jusque dans les années 1990, ont fortement accru leur emploi d'abord sur le cotonnier, puis sur le maïs. Ils en ont également augmenté les doses, même si elles restent modérées par rapport aux agricultures très intensives des pays développés. Cette tendance à l'augmentation des doses est nette pour le maïs (fig. 1.3a), mais en revanche elle est maintenant plus modérée pour le cotonnier (fig. 1.3b) : la généralisation de la culture cotonnière intensive étant ancienne par rapport à celle du maïs, cela fait déjà longtemps que les doses avaient été augmentées. Nous avons aussi remarqué que les producteurs fractionnaient tous les apports d'engrais, ce qui auparavant n'était pas le cas. Dans les années 2000, les producteurs sont passés à l'utilisation des herbicides. Aujourd'hui, c'est une pratique très répandue.

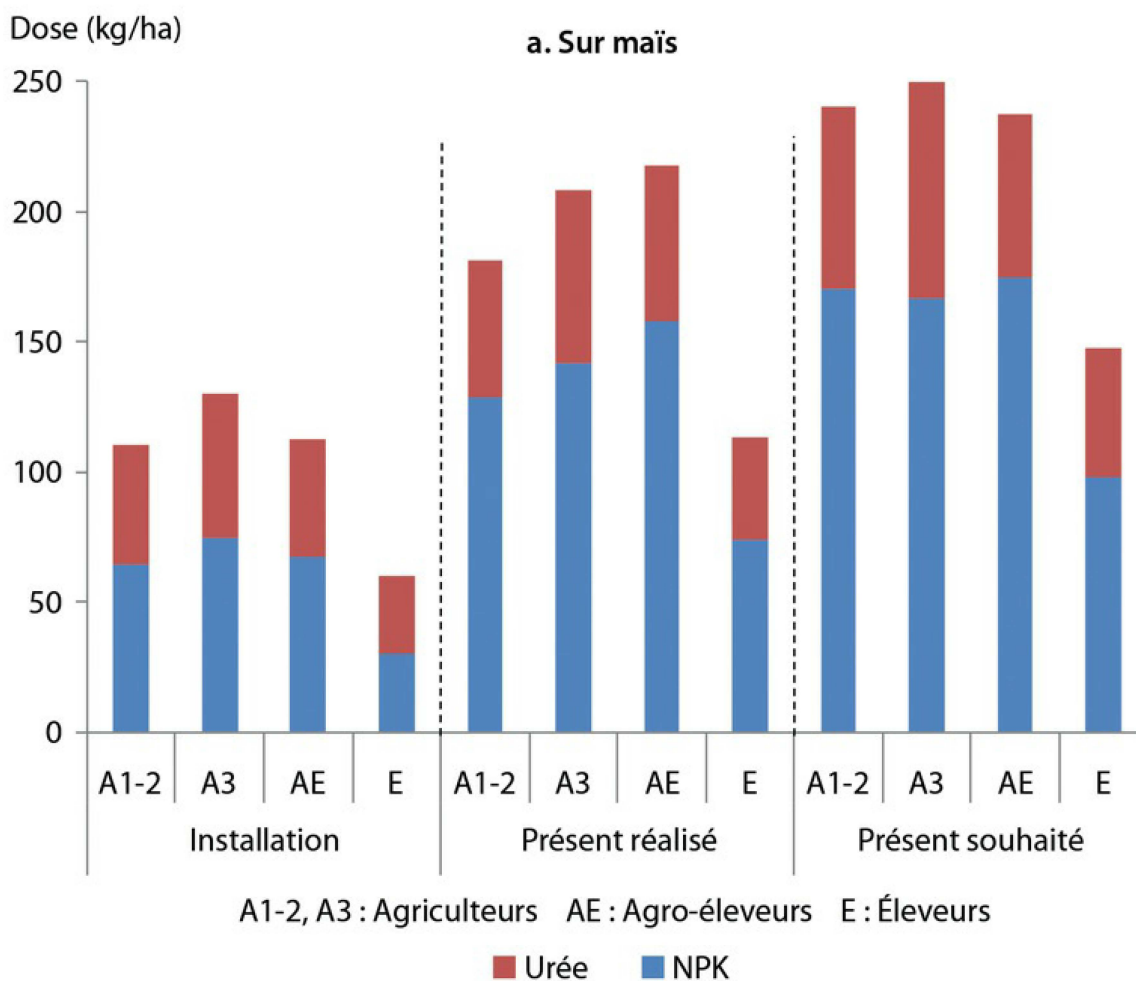


Figure 1.3.a. Évolution des doses d'engrais minéraux sur maïs, entre l'installation et aujourd'hui (présent), et comparaison réalisé/souhaité pour la pratique présente, selon les catégories de systèmes de polyculture-élevage (cf. tab. 1.1).

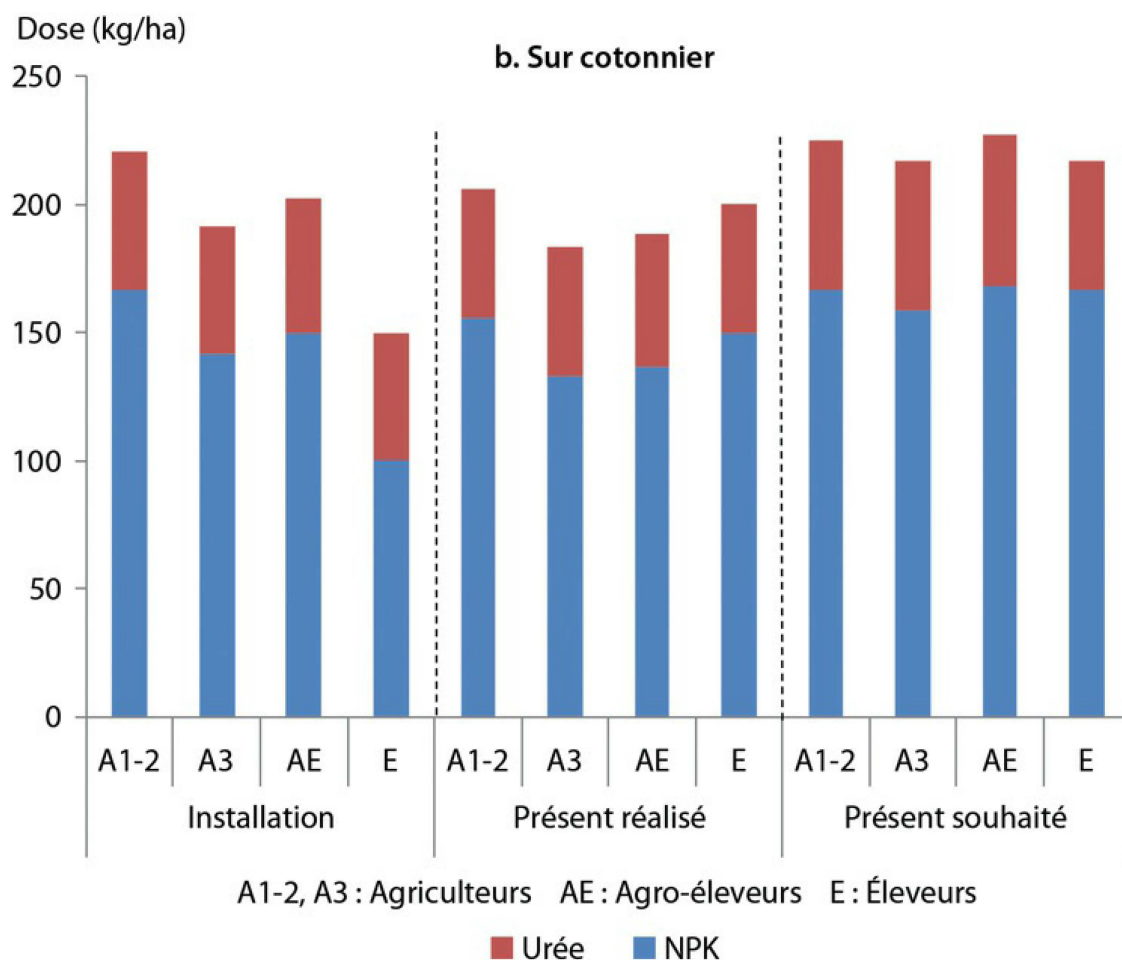


Figure 1.3.b. Évolution des doses d'engrais minéraux sur cotonnier, entre l'installation et aujourd'hui (présent), et comparaison réalisé/souhaité pour la pratique présente, selon les catégories de systèmes de polyculture-élevage (cf. tab. 1.1).

Les producteurs ont renforcé l'interaction entre l'agriculture et l'élevage, et cette tendance s'observe dans toutes les classes d'exploitation. Ils ont commencé par adopter la traction animale pour accroître les surfaces cultivées, notamment depuis le milieu des années 1980, pour la grande majorité d'entre eux. Aujourd'hui, certains producteurs plus aisés, notamment parmi les agro-éleveurs, ont même adopté le tracteur. Les producteurs ont aussi significativement augmenté leur production de fumure organique et l'utilisent largement sur le maïs et sur le cotonnier (fig. 1.4a et b), ce qu'ils justifient par la baisse de fertilité des sols et l'augmentation du prix des engrais.

Système de polyculture-élevage concerné (%)

a. Fumure organique sur maïs

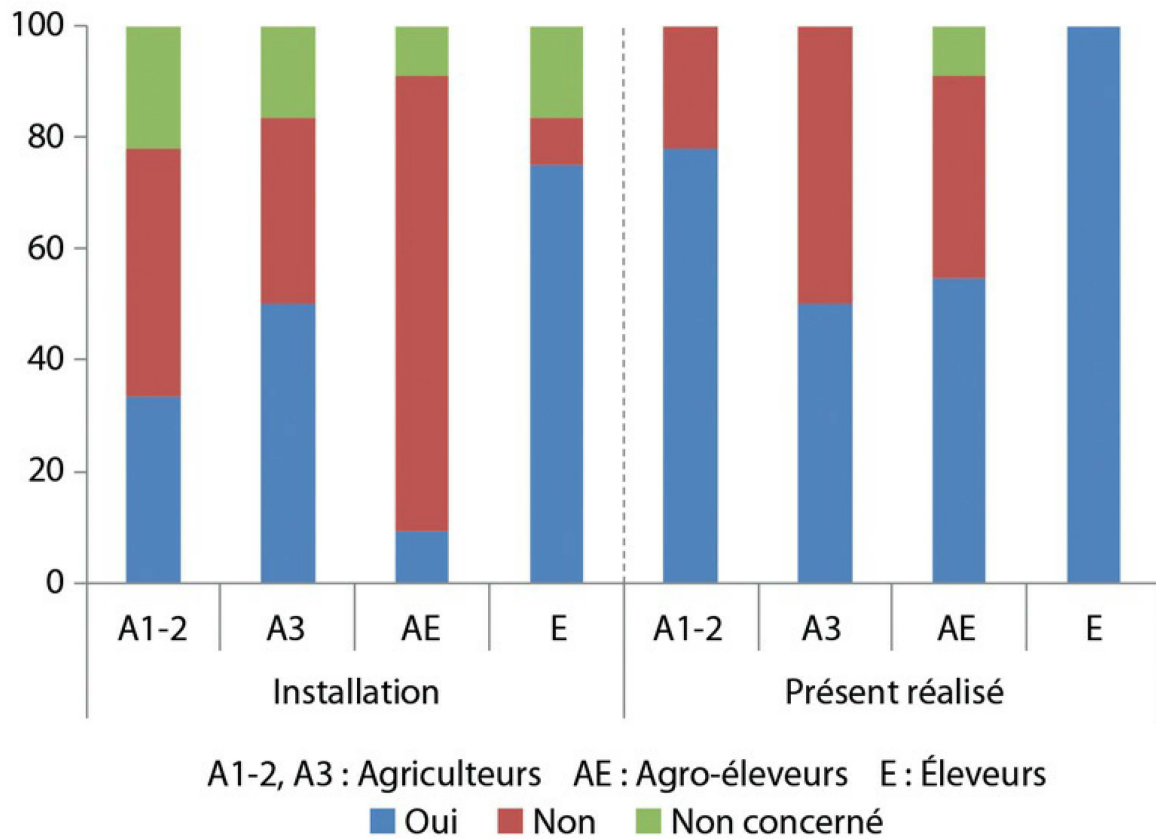


Figure 1.4.a. Évolution de l'application de la fumure organique sur maïs, selon les catégories de systèmes de polyculture-élevage (cf. tab. 1.1).

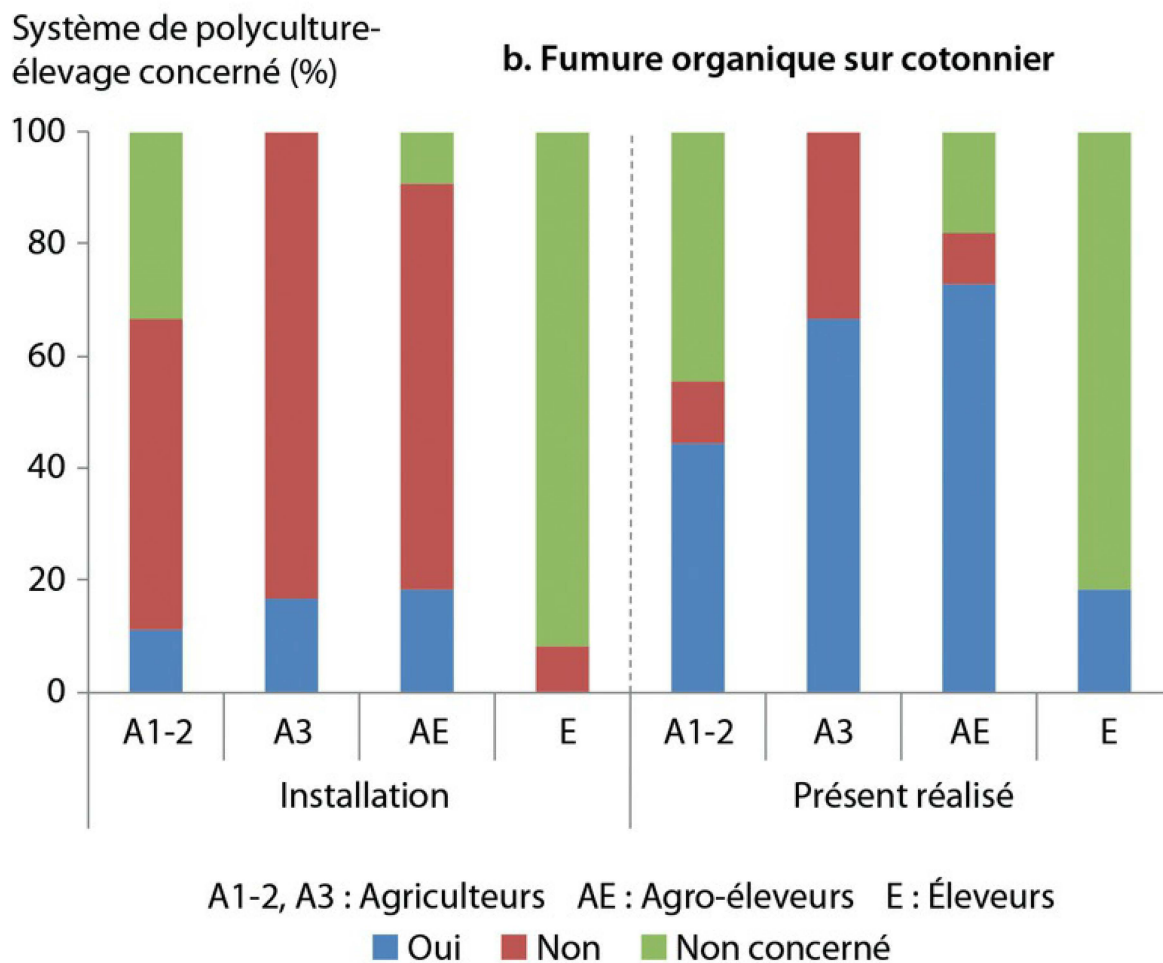
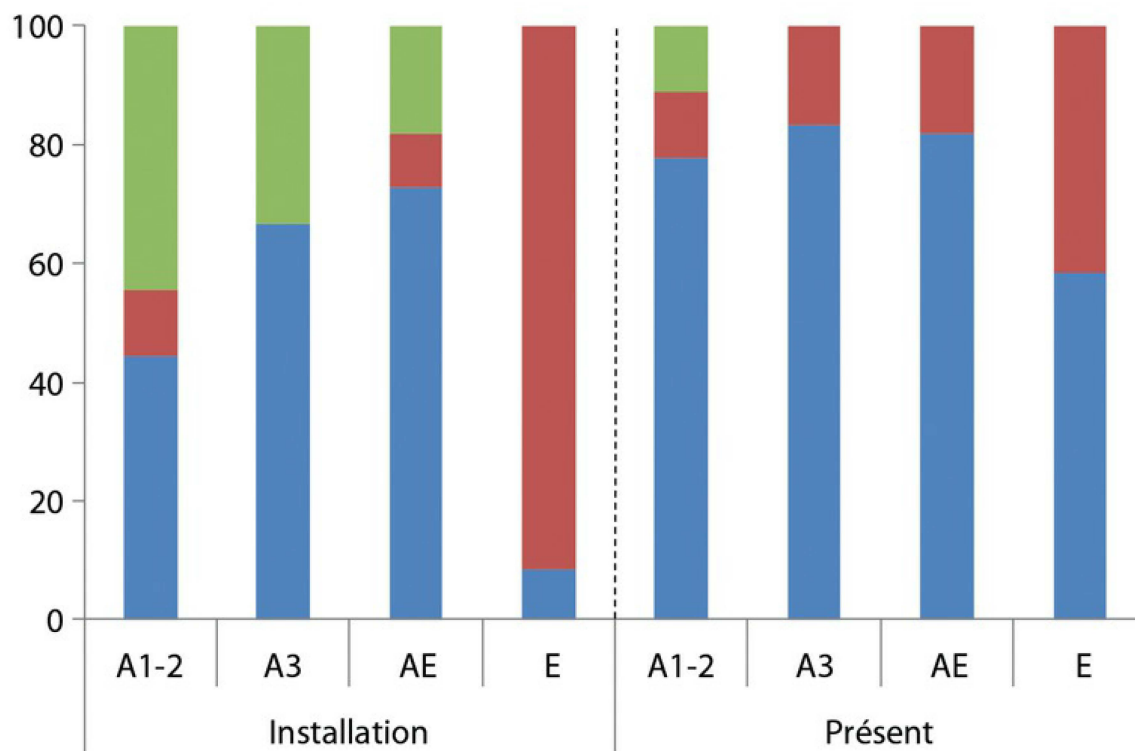


Figure 1.4.b. Évolution de l'application de la fumure organique sur cotonnier, selon les catégories de systèmes de polyculture-élevage (cf. tab. 1.1).

Aujourd'hui les producteurs stockent de plus en plus systématiquement des résidus de culture à des fins fourragères (fig. 1.5a). On a observé également les prémices du développement des cultures fourragères, dans une minorité d'exploitations d'éleveurs et d'agro-éleveurs, avec une volonté déclarée d'augmenter les surfaces dans le futur (fig. 1.5b).

Système de polyculture-
élevage concerné (%)

a. Stockage de fourrage



A1-2, A3 : Agriculteurs AE : Agro-éleveurs E : Éleveurs

■ Oui ■ Non ■ Non concerné

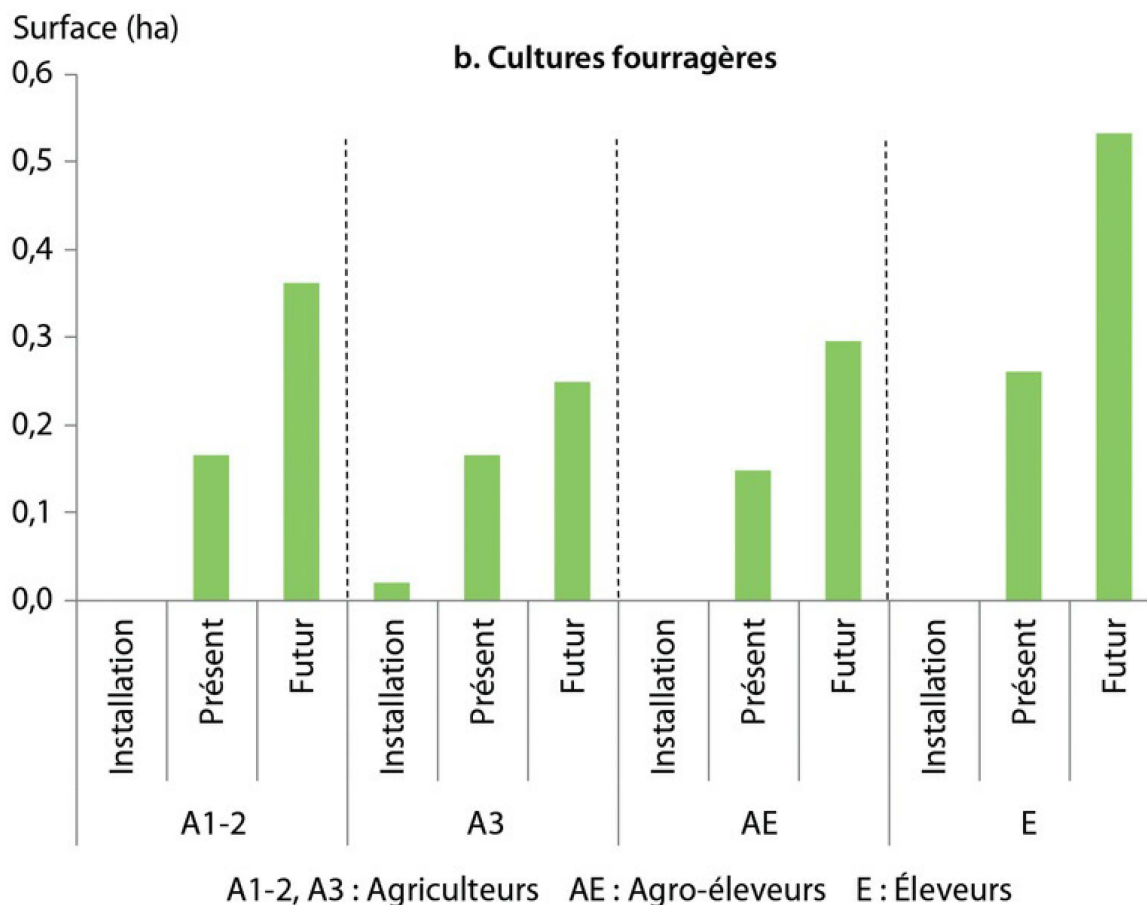


Figure 1.5. Évolution de la pratique de stockage de fourrage (a), des cultures fourragères (b) selon les catégories de systèmes de polyculture-élevage (cf. tab. 1.1).

Au niveau du parc arboré présent sur les parcelles de cultures (tab. 1.2), nous n'avons pas relevé de relations évidentes entre les catégories de systèmes de polyculture-élevage, la composition et la densité du parc arboré. Chez les éleveurs cependant, on a remarqué une tendance à conserver une plus grande diversité d'espèces.

Tableau 1.2. Densité et composition du parc arboré des parcelles cultivées en arbres par hectare, selon les catégories de systèmes de polyculture-élevage (sources : données personnelles, observation faite sur 40 exploitations).

Classes	Toutes essences	Karité (<i>Vitellaria paradoxa</i>)	Néré (<i>Parkia biglobosa</i>)	Balazan (<i>Faidherbia albida</i>)	Autres essences
A1-2	14 ± 5	9 ± 3	1 ± 2	1 ± 1	2 ± 2
A3	13 ± 5	8 ± 5	1 ± 1	2 ± 3	1 ± 0

AE	11 ± 4	8 ± 3	1 ± 1	1 ± 2	1 ± 1
E	14 ± 8	7 ± 9	1 ± 1	0 ± 1	6 ± 4
Moy.	13 ± 5	8 ± 6	1 ± 1	1 ± 2	3 ± 3

Des systèmes de polyculture-élevage encore peu engagés dans la transition agro-écologique

Dans les systèmes de polyculture-élevage de l'ouest du Burkina Faso, les producteurs combinent une stratégie d'extension des surfaces et du cheptel, avec une stratégie d'intensification conventionnelle (augmentation du recours aux engrais de synthèse, aux semences améliorées et aux matériels agricoles), doublée d'une stratégie d'intensification à caractère agro-écologique fondée principalement sur l'association de l'agriculture et de l'élevage, et sur le maintien de l'arbre dans l'agroécosystème. L'association de l'agriculture et de l'élevage se caractérise par :

- un recours massif à l'énergie animale pour les travaux agricoles et les transports ;
- l'augmentation du recyclage des résidus agricoles des exploitations, et le début de l'installation des cultures fourragères avec des espèces à usages multiples ;
- l'amélioration de la production de fumure organique.

Les systèmes de polyculture-élevage de l'ouest du Burkina Faso sont encore peu avancés dans la transition agro-écologique. Ils se situent à un stade où les producteurs maintiennent l'usage d'intrants de synthèse à un niveau modéré, tout en introduisant des pratiques à caractère agro-écologique fondées principalement sur l'association de l'agriculture et de l'élevage. Pour accompagner les producteurs vers une transition plus profonde, c'est-à-dire pour créer des effets d'intensification durables en valorisant mieux les interactions possibles entre la végétation naturelle, les troupeaux et les cultures, ainsi que le recyclage des biomasses dans les exploitations et dans les territoires, nous avons engagé des travaux de co-conception d'innovations techniques et organisationnelles. L'approche mise en œuvre a été systémique et multi-échelle pour que les contraintes s'exerçant à des niveaux d'échelles supérieurs, ou inférieurs, ne freinent pas le changement aux autres niveaux (fig. 1.6).

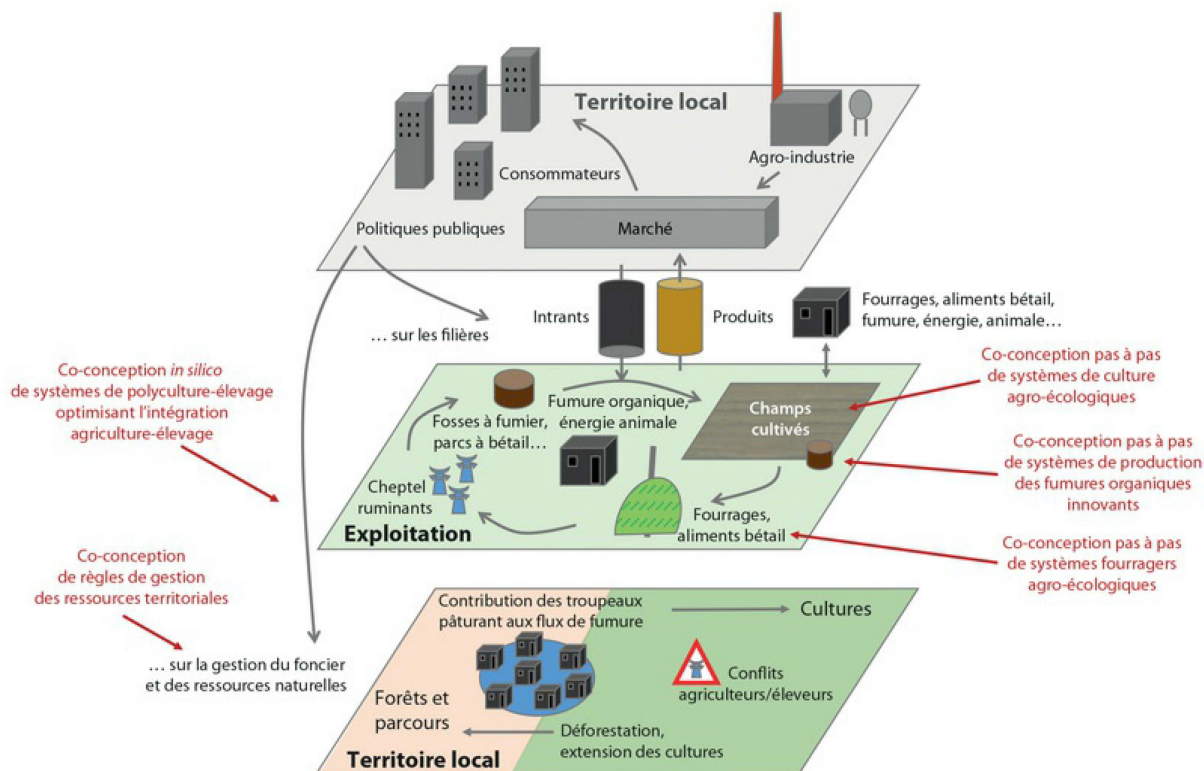


Figure 1.6. Interactions entre l'agriculture et l'élevage dans les systèmes de polyculture-élevage de l'ouest du Burkina Faso et positionnement des travaux de co-conception réalisés pour accompagner leur transition agro-écologique.

Co-conception d'innovations à l'échelle du territoire et de l'exploitation

Nous présentons une synthèse de ces travaux de co-conception réalisés pour accompagner la transition agro-écologique des systèmes de polyculture-élevage à différentes échelles : territoires, exploitations et systèmes de production.

Co-conception de règles de gestion des ressources territoriales

Au Burkina Faso, les collectivités locales issues de la décentralisation ont besoin de rénover les dispositifs de gestion des ressources naturelles de leur territoire, pour les exploiter durablement, contrôler les compétitions et gérer les conflits entre usagers. Depuis 2009, l'évolution de la loi foncière leur permet de mettre en place des chartes foncières locales. Inspirée par

les coutumes, usages et pratiques locaux, mais non contraire aux lois et règlements de l'État, une charte détermine à une échelle bien définie les règles particulières relatives à la bonne gestion des ressources territoriales.

De 2008 à 2012, avec l'appui du projet Fertipartenaires[2], nous avons accompagné la commune de Koumbia dans la conception et la mise en place d'une charte foncière locale pour établir des règles d'utilisation des ressources et des espaces compatibles avec une gestion durable des ressources et une transition agro-écologique (Vall *et al.*, 2015). Vu le nombre d'acteurs concernés, au niveau de la commune (14 villages, 1 358 km², 36 000 habitants) et au-delà (province, État), un dispositif de représentation des acteurs relativement complexe a dû être mis en place pour établir la charte. Durant la phase exploratoire, des cadres de concertation transitoires ont été mobilisés dans chaque village pour faire un état des lieux participatif et pré-identifier des règles de gestion des ressources. Durant la phase de rédaction, un cadre de concertation *ad hoc* incluant les représentants des villages, les élus et l'administration a permis d'ajuster ces règles au cadre légal et de concevoir un projet de charte.

Le conseil municipal de Koumbia a adopté la charte en 2010 (Vall *et al.*, 2015). La troisième phase visait à mettre en place les commissions chargées de son application et de ses articles portant sur la gestion des terres agricoles, des espaces pastoraux, des espaces forestiers, des mares et des cours d'eau. Mais en 2012, certains décrets d'application de la loi foncière n'avaient toujours pas été publiés. De plus, les événements de 2014 (chute du président Blaise Compaoré le 31 octobre) n'ont pas permis de mettre la charte en application. De fait, à ce jour, son impact sur la facilitation de la mise en œuvre de pratiques et de systèmes agro-écologiques n'a pas pu être évalué et reste hypothétique. La mise en place de la charte mériterait d'être reprise et poursuivie pour atteindre les résultats escomptés.

Co-conception *in silico* pour optimiser l'intégration agriculture-élevage

Le fonctionnement d'un système de polyculture-élevage est relativement complexe du fait de la multiplicité de ses composantes. Un changement de pratique intervenant sur l'une des composantes se répercute immédiatement sur les autres. C'est la raison pour laquelle la modélisation

de son fonctionnement est en théorie très utile pour chercher à optimiser l'association de l'agriculture et de l'élevage et pour étudier les effets des changements de pratiques sur lui. Plusieurs outils de simulation du fonctionnement de l'exploitation ont été testés en vue de renouveler les démarches de co-conception de systèmes de production, et d'accompagnement des producteurs dans le cadre d'une démarche participative impliquant le chercheur, le producteur, le technicien du ministère de l'Agriculture ou de l'Élevage.

Le premier s'appelle *Cikeda* (qui signifie « exploitation agricole » en langue dioula) et permet de calculer l'effet de différentes alternatives techniques et organisationnelles sur des flux de ressources (résidus, fumure organique, céréales) à l'échelle de l'exploitation sous forme de bilan fourrager, minéral, céréalier, ainsi que sur le revenu (Andrieu *et al.*, 2012). Le second, *Simflex* (Andrieu *et al.*, 2015), simule les principales règles de décision de l'agriculteur face aux aléas climatiques et économiques, et le troisième, *optimCikeda*, est un modèle d'optimisation linéaire qui maximise le revenu de l'exploitation sous contrainte.

Ces outils ont servi de support à la réflexion stratégique et tactique de respectivement 6 et 18 producteurs représentatifs des trois catégories de système de polyculture-élevage et ayant des projets (Sempore *et al.*, 2015 a et b). Dans le premier cas (réflexion stratégique), il s'agissait d'analyser avec six producteurs l'intérêt d'une nouvelle activité de production telle qu'un atelier d'engraissement de bovins. Dans le deuxième cas (réflexion tactique), il s'agissait davantage de planifier les activités à réaliser au cours de la prochaine campagne agricole (surfaces des différentes cultures, apports de fumure organique, quantités de fourrages à réaliser). Ces différents outils ont permis de renforcer les connaissances en matière d'intégration agriculture-élevage chez l'ensemble des producteurs ayant expérimenté les outils de simulation, *Cikeda* ayant été le mieux perçu par les agriculteurs du fait de la simplicité de la représentation de l'exploitation. Une évaluation des pratiques a aussi été mesurée l'année qui a suivi l'utilisation des différents outils et a montré une augmentation de plus de 20 % des quantités de compost produites, et l'introduction d'ateliers d'embouche et des cultures fourragères chez 80 % des producteurs. Des outils de modélisation plus spécifiques à l'élevage ont également été conçus et utilisés pour concevoir des ateliers d'élevage innovants (Delma *et al.*, 2016).

Co-conception pas à pas de systèmes de culture agro-écologiques

Les travaux de co-conception de systèmes de cultures agro-écologiques poursuivaient deux objectifs : d'une part, promouvoir des systèmes de cultures en agriculture de conservation (sans travail du sol, avec couverture permanente et diversification végétale) pour limiter la dégradation de la fertilité ; et d'autre part, créer des systèmes de cultures associées — principalement céréales légumineuses — afin de diversifier et de sécuriser la production, tout en profitant de l'apport d'azote au système par la légumineuse.

Des systèmes de culture en agriculture de conservation ont été testés durant plusieurs années chez des producteurs avec du sorgho associé au pois d'Angole (*Cajanus cajan*), puis du maïs associé au niébé (*Vigna unguiculata*). Les résultats ont montré, au bout de quatre ans, des rendements de 2 889 kg/ha de maïs grain et des stocks de carbone dans l'horizon superficiel (5 cm) de 10,73 t C/ha sur les parcelles en agriculture de conservation contre respectivement 2 605 kg/ha et 6,35 t C/ha sur les parcelles conventionnelles (Sanon, 2017 ; Coulibaly *et al.*, 2018). À ce jour, on relève pourtant peu d'adoption de ces systèmes, en raison de difficultés encore importantes de nature technique (maîtrise des adventices, méconnaissance du pois d'Angole), ou organisationnelle et culturelle (difficulté à garder des résidus sur les parcelles). Mais on a relevé un intérêt reconnu par les producteurs pour améliorer la fertilité de parcelles dégradées.

Pour les cultures associées en systèmes conventionnels, les principaux systèmes testés ont été les associations du maïs avec diverses légumineuses à usages multiples (alimentation humaine, fourrage, couverture du sol). Coulibaly *et al.* (2012) ont montré que l'association maïs/niébé permettait d'économiser 30 % de superficie par rapport à la culture pure du maïs et du niébé, et que l'association maïs/mucuna (*Mucuna rajada*) permettait d'économiser 26 % de surface en termes de production globale du système. Avec la mécanisation du sarclage dans les lignes de cultures en zone cotonnière, les associations sont toutefois difficiles à mettre en œuvre sans un arrangement libérant l'interligne de culture, ce qui explique en grande partie le peu d'adoption des cultures associées, voire leur disparition quand les producteurs utilisent des herbicides. De nouveaux travaux visent à adapter les systèmes pour assurer

une meilleure réintroduction des légumineuses dans ce nouveau contexte.

Co-conception pas à pas de systèmes fourragers agro-écologiques

Pour faire face à la réduction des espaces pastoraux, mais également aux problèmes d'accessibilité et de prix des aliments bétail sur le marché, qui limitent les projets d'expansion des ateliers d'élevage (achat d'animaux de trait, production de lait ou d'embouche) dans les exploitations (Delma *et al.*, 2016), nous avons accompagné les producteurs dans la conception et la mise en œuvre de techniques de production et de stockage de fourrages.

Un premier volet du travail, réalisé à grande échelle (plusieurs centaines de parcelles d'essai chez les producteurs), a concerné la production de légumineuses fourragères (*Mucuna deeringiana*, *Vigna unguiculata*, *Cajanus cajan*, etc. ; Ouattara *et al.*, 2016). La préférence des producteurs s'est portée davantage sur le *V. unguiculata* pour son caractère multi-usage (nourriture, fourrage, fertilité) et ses fanes de qualité (Gomgnimbou *et al.*, 2017), et pour le *M. deeringiana*, facile et économique à cultiver (2 à 4 tonnes de matière sèche [MS] de fanes par hectare).

Un autre volet du travail a concerné l'installation de plantations d'arbres fourragers, *Leucaena leucocephala* et *Morus alba*, implantées à haute densité (20 000 plants/ha) et dénommées « banques fourragères arbustives » (Ollo *et al.*, 2016). Après la période d'installation (12 mois), les banques entrent en production. D'après les premiers résultats, la production (4 à 10 t MS/ha) n'est pas à la hauteur des objectifs visés par les éleveurs (15 à 20 t MS/ha), mais les premières banques ont résisté à la saison sèche, au feu et aux termites, ce qui les rend potentiellement très intéressantes.

Pour l'instant, l'adoption des cultures fourragères, annuelles et arbustives, reste limitée, et le pâturage, le stockage des résidus et l'achat d'aliments demeurent les options préférées des éleveurs. Ces travaux ont eu néanmoins quelques effets inattendus et prometteurs, comme la création d'une mini-laiterie par les femmes peules de Koumbia, ou la mise en œuvre d'une activité de production de semence de *M. deeringiana* par des producteurs de Kourouma. Ces effets indiquent un effet probable d'autonomisation de la co-conception, et révèlent l'intérêt d'élargir les

dispositifs de conception aux acteurs de l'amont et de l'aval des filières pour mieux traiter des questions de viabilité et de faisabilité des innovations.

Co-conception pas à pas de systèmes de production des fumures organiques innovants

Dans l'ouest du Burkina Faso, la majorité de la production de fumure se fait à proximité des zones d'habitation où sont parqués les animaux (Diarisso *et al.*, 2016). Le transport des litières et des fumures représente donc une charge de travail importante et constitue un réel frein à la production de fumure organique, d'autant plus qu'avec l'extension des cultures sur les territoires, les distances à parcourir sont de plus en plus longues. Nous avons proposé aux producteurs de tester la délocalisation de la production de fumure organique au champ en adaptant les modes de production pour réduire cette contrainte de transport (Blanchard *et al.*, 2017 ; Benagabou *et al.*, 2017).

L'objectif était de produire directement au champ une fumure de qualité avec un minimum de travail et d'intrants. Un travail conduit à grande échelle (plus de 1 000 fosses), entre 2005 et 2012, a permis de concevoir un modèle de production de fumure organique en fosses de champs cimentées, remplies en fin de saison sèche ($\frac{1}{28}$ 20 % de déjection animale, 80% de résidus agricoles), avec apport d'eau pluviale, sans hachage et sans retournement, et vidange au bout de 12 mois, pour un rendement d'environ 50 %, une production de 150 kg MS/m³, une teneur d'environ 10 g C /100 g, et un rapport carbone/azote d'environ 20 (Blanchard *et al.*, 2014).

L'évaluation de l'impact de ce travail réalisé en 2015 a confirmé l'adoption de cette technique, et mis en évidence un début d'impact sur la production de fumure organique (augmentation de 7 tonnes par exploitation), sur les rendements du maïs (+ 786 kg/ha), et de l'avis des producteurs sur l'amélioration de la fertilité du sol, sur l'augmentation de leurs revenus et sur leur sécurité alimentaire (Vall *et al.*, 2016). L'augmentation et l'amélioration agro-écologique de la production de fumure est un thème qui intéresse toujours les producteurs. Aujourd'hui, les pratiques continuent à évoluer avec l'installation de bio-digesteurs et des essais de fertilisation à base de déjections de chenilles du karité

(Coulibaly *et al.*, 2016).

Conclusions

Ces travaux de co-conception de systèmes innovants ont contribué à transformer les systèmes agricoles locaux et à accompagner les producteurs dans une transition agro-écologique.

Ils ont produit deux grandes catégories de résultats (*outputs*) : des innovations agro-écologiques potentielles ; et des analyses des processus d'évolution en cours. Ces deux types de résultats ont fait l'objet de publications scientifiques et techniques.

Les évolutions observées montrent que les systèmes de polyculture-élevage de l'ouest du Burkina Faso sont encore à un stade peu avancé de la transition agro-écologique dans lesquels les producteurs maintiennent l'usage d'intrants de synthèse à un niveau modéré, tout en introduisant des pratiques agro-écologiques fondées principalement sur le renforcement de l'association de l'agriculture et de l'élevage.


Les résultats des travaux de co-conception ont aussi contribué à des changements de pratiques dans les systèmes de polyculture-élevage. Mais, l'adoption de pratiques agro-écologiques a été inégale selon le type d'innovation proposée. Pour des innovations se greffant sur des changements déjà en cours, l'adoption et les premiers impacts ont été plus rapides à observer. Cela a été le cas des innovations allant dans le sens du renforcement de l'association agriculture-élevage, comme les fosses au champ. En revanche, pour des innovations à contre-courant des modèles d'intensification soutenus par le développement, comme les semis sur couverture végétale, et même les cultures associées, l'adoption est encore très limitée. Des changements inattendus ont aussi été observés chez certains acteurs impliqués dans les travaux de co-conception, comme l'installation d'une mini-laiterie, de bio-digesteurs, de fenils, de commercialisation de semences de *Mucuna*. Ces changements illustrent un effet d'autonomisation (*empowerment*) de la co-conception à travers le prolongement de l'action dans une autre direction, choisie par les acteurs des terrains eux-mêmes.


Les succès et les échecs de ces travaux de co-conception de systèmes de

polyculture-élevage innovants nous ont également conduits à formuler quelques recommandations pour rendre la co-conception plus efficace et pour accélérer la transition agro-écologique :

- prendre le temps de bien étudier et de comprendre les dynamiques d'évolutions en cours pour ajuster les propositions d'innovations aux contraintes et aux objectifs des producteurs ;
- préparer la co-conception de systèmes agricoles innovants, par des études des processus agro-écologiques mobilisables à différentes échelles, et prévoir des actions d'accompagnement du changement pour consolider les résultats ;
- prendre en compte l'adaptation des règles de gestion des ressources territoriales lors de la co-conception de systèmes agricoles innovants ;
- intégrer les acteurs-clés des chaînes de valeurs et ceux impliqués dans la gestion des territoires aux dispositifs de co-conception tels que les plateformes d'innovation ;
- coupler des innovations inconnues des acteurs de terrains avec des innovations en cours pour mieux les intéresser et les impliquer.

Références

Andrieu N., Dugué P., Le Gal P.Y., Rueff M., Schaller N., Sempore A.W., 2012. Validating a whole farm modelling with stakeholders: Evidence from a West African case. *Journal of Agricultural Science*, 4 (9), 159-173, <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n9p159> .

Andrieu N., Descheemaeker K., Sanou T., Chia E., 2015. Effects of technical interventions on flexibility of farming systems in Burkina Faso: Lessons for the design of innovations in West Africa. *Agricultural Systems*, 136, 125-137, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.02.010> .


Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J., 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agric. Syst.*, 94, 13-25.


Bénagabou O.I., Blanchard M., Bougouma M., Vayssieres J., Vigne M., Vall E., Lecomte P., Nacro H.B., 2017. L'intégration agriculture-élevage améliore-t-elle l'efficacité, le recyclage et l'autonomie énergétique brute des exploitations familiales mixtes au Burkina Faso ? *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 70 (2), 31-41,


<https://doi.org/10.19182/remvt.31479> .

Blanchard M., Coulibaly K., Bognini S., Dugué P., Vall E., 2014. Diversité de la qualité des engrais organiques produits par les paysans d'Afrique de l'Ouest : Quelles conséquences sur les recommandations de fumure ? *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 18 (4), 512-523.

Blanchard M., Vall E., Tinguéri B.L., Meynard J.M., 2017. Identification, caractérisation et évaluation des pratiques atypiques de gestion des fumures organiques au Burkina Faso : Sources d'innovation ? *Autrepart*, 81, 91-114.

Bricas N., Tchamda C., Martin P., 2016. Les villes d'Afrique de l'Ouest et du Centre sont-elles si dépendantes des importations alimentaires ? *Cahiers agricultures*, 25 (5), 55001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2016036> .

Cirad, 2016. L'agro-écologie pour les agricultures tropicales et méditerranéennes : Le positionnement des recherches du Cirad, <http://agroecologie.cirad.fr> .

Cooper P.J.M., Dimes J., Rao K.P.C., Shapiro B., Shiferaw B., Twomlow S.J., 2008. Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change? *Agriculture Ecosystems and Environment*, 126 (1-2), 24-35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.007> .

Coulibaly K., Gnissien M., Yaméogo T.J., Traoré M., Nacro B.H., 2016. Perception des producteurs sur l'utilisation des déjections des chenilles dans la gestion de la fertilité des sols dans la région des Hauts-Bassins au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 108, 10531-10542.

Coulibaly K., Gomgnimbou A.P.K., Traoré M., Sanon J.F.K., Nacro H.B., 2018. Effets de l'agriculture de conservation sur la dynamique de l'eau et le stock de carbone d'un sol ferrugineux tropical à l'ouest du Burkina Faso. *Science et technique*, série Sciences naturelles et appliquées, spécial hors série, 4, 273-282.

Coulibaly K., Vall E., Autofay P., Nacro H.B., Sédogo P.M., 2012. Premiers résultats d'intensification écologique et démarche participative

en zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso. *Agronomie africaine*, 24 (2), 129-141.

Dabiré D., Andrieu N., Djamen P., Coulibaly K., Posthumus H., Diallo A., Karambiri M., Douzet J.M., Triomphe B., 2016. Operationalizing an innovation platform approach for community-based participatory research on conservation agriculture in Burkina Faso. *Experimental Agriculture*, 53 (3), 460-479, <http://dx.doi.org/10.1017/S0014479716000636> ☐.

Delma B.J., Bougouma-Yameogo V., Nacro H.B., Vall E., 2016. Fragilité des projets d'élevage familiaux dans les exploitations de polyculture-élevage au Burkina Faso. *Cahiers agricultures*, 25 (3), 35005, <http://dx.doi.org/10.1051/cagri/2016019> ☐.

Diarisso T., Corbeels M., Andrieu N., Djamen P., Douzet J.M., Tifton P., 2016. Soil variability and crop yield gaps in two village landscapes of Burkina Faso. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 105 (3), 199-216, <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-015-9705-6> ☐.

Duru M., Fares M., Therond O., 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain) la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires. *Cahiers agricultures*, 23 (2), 84-95, <http://dx.doi.org/10.1684/agr.2014.0691> ☐.


Gomgnimbou A.P.K., Coulibaly K., Sanou W., Sanon A., Nacro H.B., Sedogo M.P., 2017. Évaluation des composantes de rendements et de la teneur en éléments chimiques de la biomasse du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) en conditions d'expérimentation paysanne dans l'ouest du Burkina. *Afrique science*, 13 (5), 61-69.

Jahel C., Baron C., Vall E., Karambiri M., Castets M., Coulibaly K., Bégué A., Lo Seen D., 2017. Spatial modelling of agro-ecosystem dynamics across scales: A case in the cotton region of West-Burkina Faso. *Agricultural Systems*, 157, 303-315, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.016> ☐.

Koutou M., Vall E., Chia E., Andrieu N., Traoré K., 2011. Leçons de l'expérience des comités de concertation villageois pour la conception des innovations : Le cas du projet Fertipartenaires au Burkina Faso. In : *Partenariat, modélisation, expérimentation : Quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique* (E. Vall,

N. Andrieu, E. Chia, H.B. Nacro, eds), Actes du séminaire, novembre 2011, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Cédérom.

Meynard J.M., Dedieu B., Bos A.P., 2012. Re-design and co-design of farming systems: An overview of methods and practices. *In : Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic* (I. Darnhofer, D. Gibon, B. Dedieu, eds), Springer, 407-432.

Milleville P., Serpantié G., 1994. Intensification et durabilité des systèmes agricoles en Afrique Soudano-Sahélienne. *In : Actes du séminaire régional, Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne*, 10-14 janvier 1994, Dakar, Sénégal, CTA Wageningen, Pays-Bas, 33-45, http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/43575.pdf .


Ollo S., Vall E., Gonzalez-Garcia E., Blanchard M., Bougouma V., 2016. *Establishing high density protein banks in the West Africa context: An innovative contribution to the sustainable intensification of family dairy farming systems*, World Congress, Silvo-Pastoral System 2016, 27-30 septembre, Evora, Portugal.

Ouattara B., Sangaré M., Coulibaly K., 2016. Options pour une intensification durable de la production agricole et fourragère dans le système de production agropastoral des zones cotonnières du Burkina Faso. *Science et technique*, spécial hors-série, 2, 133-151.


Ouédraogo S., Vall E., Bandagao A.A., Blanchard M., Ba A., Dabire D., Fayama T., Havard M., Kouadio Kouakou P., Ouattara B., Saba F., Sodre E., Yarga H., 2016. Sustainable intensification of mixed farming systems in sub-humid savannah of Western Africa in relation to local value chains (maize, cattle, small ruminants, cotton...): PROIntensAFrica. *In : Depth Case study Final Report*, Inera-Cirad, Bobo-Dioulasso, 57 p.


Sanon J.F.K., 2017. Effets de l'agriculture de conservation sur les flux hydriques, la fertilité du sol et les rendements des cultures à l'ouest du Burkina Faso, mémoire d'ingénieur, Institut du Développement rural, Université Nazi Boni, 63 p.

Sempore A.W., Andrieu N., Le Gal P.Y., Nacro H.B., Sedogo M.P., 2015a. Supporting better crop-livestock integration on small-scale West African farms: A simulation based approach. *Agroecology and Sustainable*

Food Systems, 40 (1), 3623,
<https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1089966> 

Sempore A.W., Andrieu N., Nacro H.B., Sedogo M.P., Le Gal P.Y., 2015b. Relevancy and role of whole-farm models in supporting smallholder farmers in planning their agricultural season. *Environmental Modelling & Software*, 68 (2), 147-155.


Tittonell P., 2014 Ecological intensification of agriculture — sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53-61,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006> 


Vall E., Chia E., Blanchard M., Koutou M., Coulibaly K., Andrieu N., 2016. La co-conception en partenariat de systèmes agricoles innovants. *Cahiers agricultures*, 25 (1), 15001, <https://doi.org/10.1051/cagri/2016001> 

Vall E., Diallo M., 2009. Savoirs techniques locaux et pratiques : La conduite des troupeaux au pâturage (BF). *NSS*, 17 (2), 122-135.

Vall E., Diallo M.A., Fako Ouattara B., 2015. De nouvelles règles foncières pour un usage plus agroécologique des territoires en Afrique de l'Ouest : L'ingénierie écologique pour les services d'approvisionnement et socio-culturels. *Sciences eaux & territoires*, 16, 52-56.

Vall E., Dugué P., Blanchard M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cahiers agricultures*, 15 (1), 72-79.

Vall E., Koutou M., Blanchard M., Bayala I., Mathé S., 2016. Low cost and smart innovations in manure management in agro-pastoral systems of Western Burkina Faso, <https://impress-impact-recherche.cirad.fr/ex-post/case-studies/agro-pastoral-systems> 

Vall E., Marre-Cast L., Kamgang H.J., 2017. Chemins d'intensification et durabilité des exploitations de polyculture élevage en Afrique subsaharienne : Contribution de l'association agriculture-élevage. *Cahiers agricultures*, 26 (2), 25006. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017011> 

L'agro-écologie à Madagascar : de la plante au paysage

Krishna Naudin, Patrice Autfray, Julie Dusserre, Éric Penot, Louis-Marie Raboin, Tahina Raharison, Jacqueline Rakotoarisoa, Alain Ramanantsoanirina, Meva Tahiry Randrianjafizanaka, Laingo Irintsoa Rasolofo, Harinjaka Raveloson, Mamy Razafimahatratra, Paulo Salgado, Mathilde Sester, Kirsten Vom Brocke, Éric Scopel

Introduction

Contexte et problématique

La région du Vakinankaratra, au centre de l'île de Madagascar, est à cheval sur deux zones biogéographiques qui présentent des différences physiques et humaines propres : les Hautes Terres et le Moyen-Ouest (fig. 2.1). Les équipes de recherche et de développement localisées à Antsirabe ont été sollicitées depuis plus de 30 ans afin d'y accompagner une intensification durable de la production agricole. Pour cela, différentes solutions agro-écologiques ont été prospectées, afin de mobiliser au mieux les ressources naturelles disponibles et dans un souci de cohérence à l'échelle des exploitations dans leur diversité. Des innovations plus ou moins complexes, combinant parfois différentes options, ont été envisagées en fonction des contextes.

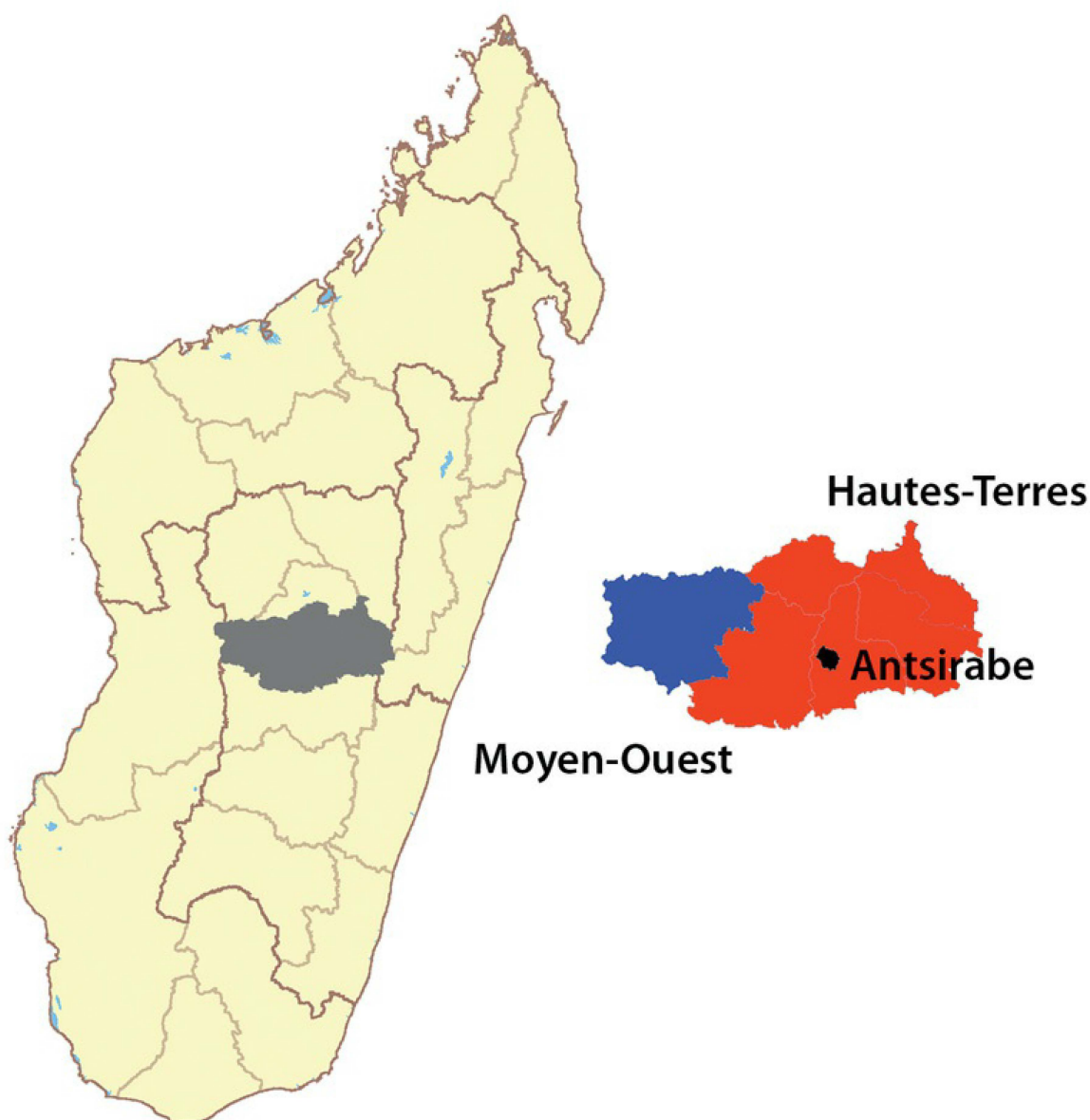


Figure 2.1. Localisation des Hautes Terres et du Moyen-Ouest à l'intérieur de la région du Vakinankaratra à Madagascar (d'après carte Wikipédia - Privatmajory CC BY-SA).

La partie du Vakinankaratra qui appartient aux Hautes Terres est située à une altitude autour de 1 400 m, sa pluviométrie annuelle est de 1 300 mm en moyenne. C'est une zone de peuplement ancien, plus de 2 000 ans, par conséquent la densité de population y est importante (supérieure à 120 hab./km²). Les exploitations se caractérisent par une petite taille (0,5 ha en moyenne), des systèmes de production intensifs en travail, une très faible utilisation d'intrants agricoles et la pratique des cultures de contre-saison en zone irriguée quand cela est possible. Les zones irriguées et les zones en agriculture pluviale sur les *tanety*[3] (collines) sont déjà occupées. Les systèmes de culture dans les bas-fonds aménagés sont basés

sur le riz irrigué en saison des pluies avec des rendements en riz autour de 3 t / ha, suivis en contre-saison de cultures maraîchères (pomme de terre, tomate, carotte) et/ou de fourrages pour les éleveurs laitiers. En ce qui concerne les systèmes de culture sur *tanety*, le riz pluvial (en essor), le maïs, la patate douce, le haricot, le pois de terre (*Vigna subterranea*, *voandzou*), le manioc, la pomme de terre et l'arachide sont les principales productions. Face à la croissance démographique, le riz pluvial est devenu une composante extrêmement importante dans la production rizicole totale qui constitue la base de l'alimentation des Malgaches. L'accroissement de la production de riz pluvial est liée à l'adoption d'une variété népalaise particulièrement adaptée aux conditions locales, et de variétés issues de la recherche locale (Penot *et al.*, 2016 ; Raboin *et al.*, 2014). L'intégration agriculture-élevage est particulièrement importante et le fumier reste la première source de fertilisation pour les cultures. L'élevage est également une des possibilités locales de valorisation des ressources végétales et d'augmentation du revenu. La problématique pour ces agriculteurs dont les surfaces cultivables sont limitées est d'intensifier la production par unité de surface alors qu'ils n'ont que très peu accès à des moyens d'intensification classiques (engrais, mécanisation, pesticides), le tout dans un milieu fragile et avec des pentes assez fortes.

Le moyen-ouest de Madagascar est situé à une altitude plus basse, autour de 800 m. Les sols sont pauvres sur le plan chimique (sols ferralitiques désaturés) mais bénéficient de conditions physiques correctes. Le climat y est de type tropical avec 1 000 à 1 500 mm/an de précipitations répartis sur quatre à cinq mois. Ce sont des zones dont la colonisation est plus récente (dans les années 1960), par conséquent la densité de population y est plus faible (30 à 40 hab./km²) et les superficies des exploitations sont plus importantes que sur les Hautes Terres (Penot *et al.*, 2016). Il s'agit encore d'une zone de front pionnier en cours de stabilisation. Les cultures principales sont le riz pluvial, le maïs et le manioc sur les *tanety*, et le riz irrigué dans les bas-fonds. L'élevage y est très important en raison des espaces de pâturage naturels étendus qui subsistent à une distance relativement proche des grands marchés des Hautes Terres. Dans cette région également, les bas-fonds, même si leur surface est moins étendue, ont été cultivés en premier et les paysans doivent maintenant cultiver de manière de plus en plus régulière les *tanety*. Mais en culture pluviale, la région du Moyen-Ouest se distingue par la présence d'une plante parasite dommageable aux céréales : *Striga asiatica*. Les variétés de riz et les systèmes de culture qui sont mis au point visent donc, outre à s'adapter à

une faible fertilité, à réduire l'incidence de *S. asiatica*.

Les acteurs et leurs rôles

Pour répondre aux enjeux présentés ci-dessus, les structures de développement malgaches et le Cirad travaillent conjointement depuis bientôt 35 ans. Ainsi, l'ONG Tafa, créée en 1995, a eu comme objectif de proposer une alternative au modèle d'intensification basé sur le travail du sol alors promu à Madagascar. À partir des premières expériences mises en place en 1991 sur le site d'Andranomanelatra (région d'Antsirabe) et avec l'appui de L. Séguy du Cirad, cette ONG a assuré la création de nouveaux systèmes de culture en agriculture de conservation et leur diffusion en s'appuyant sur un nombre de sites-vitrines répartis sur les principales régions agro-écologiques du pays. Le travail de promotion de l'agriculture de conservation a été étendu à l'échelle nationale par la création en 2002 du groupement du Semis direct à Madagascar (GSDM), en lien avec d'autres partenaires nationaux et internationaux (Compagnie Bas-Rhône Languedoc [BRL], Agrisud, Groupe de recherche et d'échange technologique [Gret]). Petit à petit, d'autres solutions techniques ont également été intégrées à leur travail de vulgarisation (agroforesterie, lombricompost). L'AFD a soutenu ces activités au travers de divers projets nationaux et programmes internationaux. Elle a notamment soutenu de 2006 à 2012 un programme de développement « Bassin versant périmètre irrigué » qui avait pour objectif l'augmentation durable des revenus des agriculteurs tout en préservant l'environnement à travers, entre autres, la promotion de l'agro-écologie. En parallèle de ces actions axées sur le développement, le Fofifa (Centre national de la recherche appliquée au développement rural, Madagascar), l'université d'Antananarivo et le Cirad ont créé le collectif « Systèmes de culture et rizicultures durables », fin 2001, pour assurer l'accompagnement agronomique et économique de l'augmentation des surfaces de riziculture pluviale. Ce collectif a centré son travail sur deux innovations majeures : d'une part, la création et la diffusion des variétés de riz pluvial d'altitude issues du programme de création variétale lancé au milieu des années 1980 par le Fofifa et le Cirad ; et d'autre part, la création et l'évaluation des systèmes de culture en agriculture de conservation ou systèmes de culture sur couverture végétale, diffusés par l'ONG Tafa et le Cirad depuis le début des années 1990. Le collectif franco-malgache de recherche est passé par différents statuts de collaboration scientifique, élargissant petit à petit ces

thématiques de recherche et son cercle partenarial. Ainsi, le dispositif de recherche en partenariat actuel « Systèmes de production d'altitude et durabilité » associait en 2013 également l'Institut de recherche pour le développement (IRD), Fifamanor et AfricaRiceCenter.

Cadre conceptuel

Wezel *et al.* (2014) proposent de classer les innovations agro-écologiques en fonction des mécanismes qu'elles mobilisent et de la profondeur des changements requis : augmentation de l'efficacité, substitution des intrants externes et refonte des systèmes (*redesign*). Sur les Hautes Terres et dans le Moyen-Ouest, les paysans utilisent peu d'intrants chimiques. Donc logiquement les solutions proposées se basent peu sur les mécanismes de substitution mais plutôt sur l'augmentation de l'efficacité et la refonte des systèmes.

Nous présenterons tout d'abord deux exemples d'augmentation de l'efficacité à l'échelle de la plante, en montrant comment la sélection variétale s'est orientée vers des variétés naturellement résistantes à une maladie fongique (la pyriculariose), valorisant mieux l'azote présent dans le sol et produisant plus de biomasse végétative, et ainsi plus concurrentielles vis-à-vis des adventices. Nous présenterons également un exemple d'augmentation de l'efficacité, à l'échelle intermédiaire du système d'élevage, à travers le processus de fabrication du fumier, qui améliore le recyclage des nutriments et augmente le rendement des cultures. Nous verrons quelle répercussion cette augmentation de l'efficacité peut avoir à l'échelle de l'exploitation. Nous présenterons ensuite des exemples de refonte du mode de gestion des sols et des cultures, à l'échelle des systèmes de culture, basés sur des nouvelles variétés de riz pluvial et sur l'agriculture de conservation. Cette dernière étant un exemple de modifications agro-écologiques plus profondes d'un point de vue systémique et du point de vue des mécanismes mobilisés.

Deux innovations basées sur l'augmentation de l'efficacité

Une sélection variétale adaptée à une faible fertilité

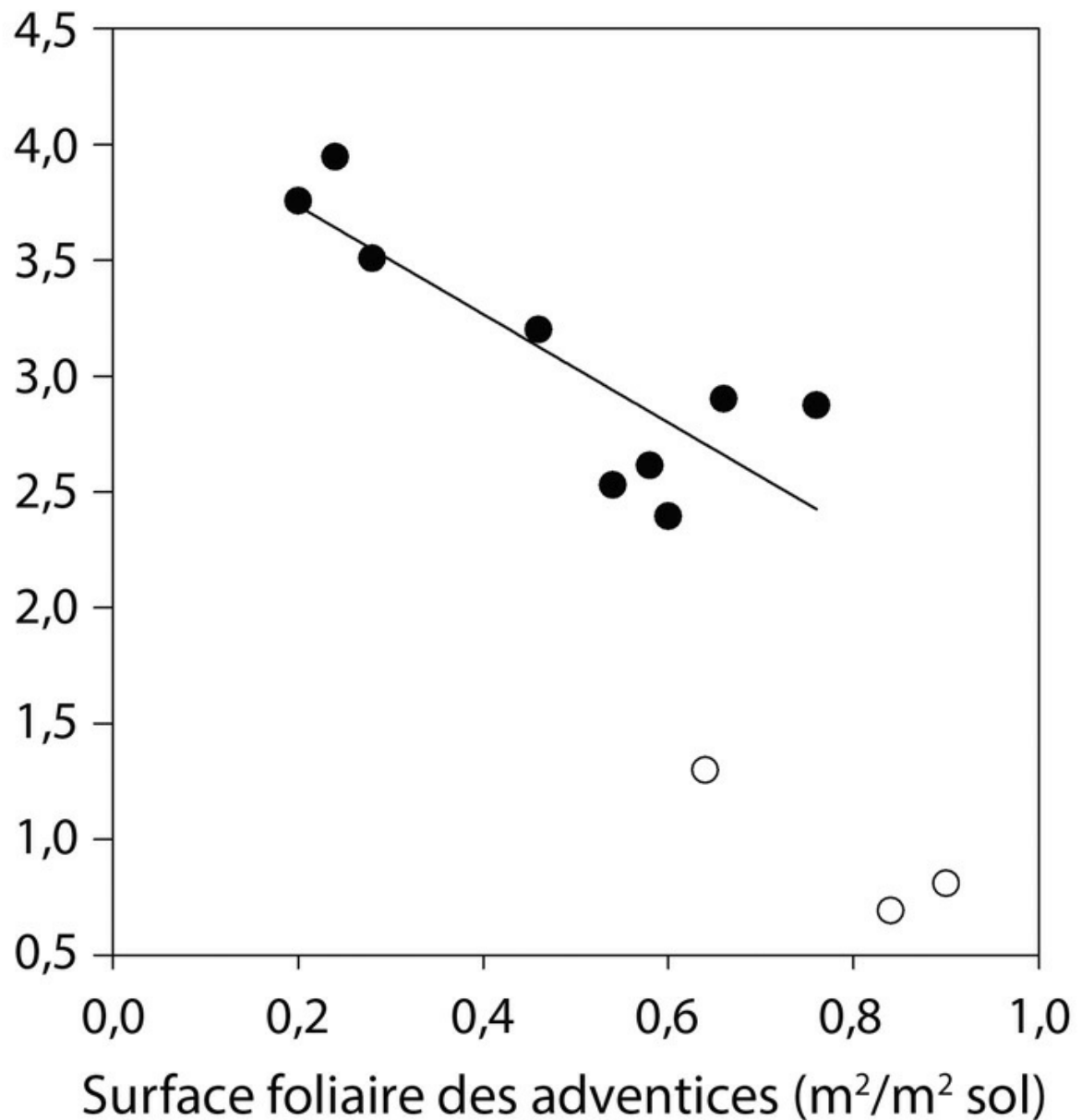
des sols et aux bioagresseurs

Des plantes plus adaptées à une faible fertilité et aux maladies

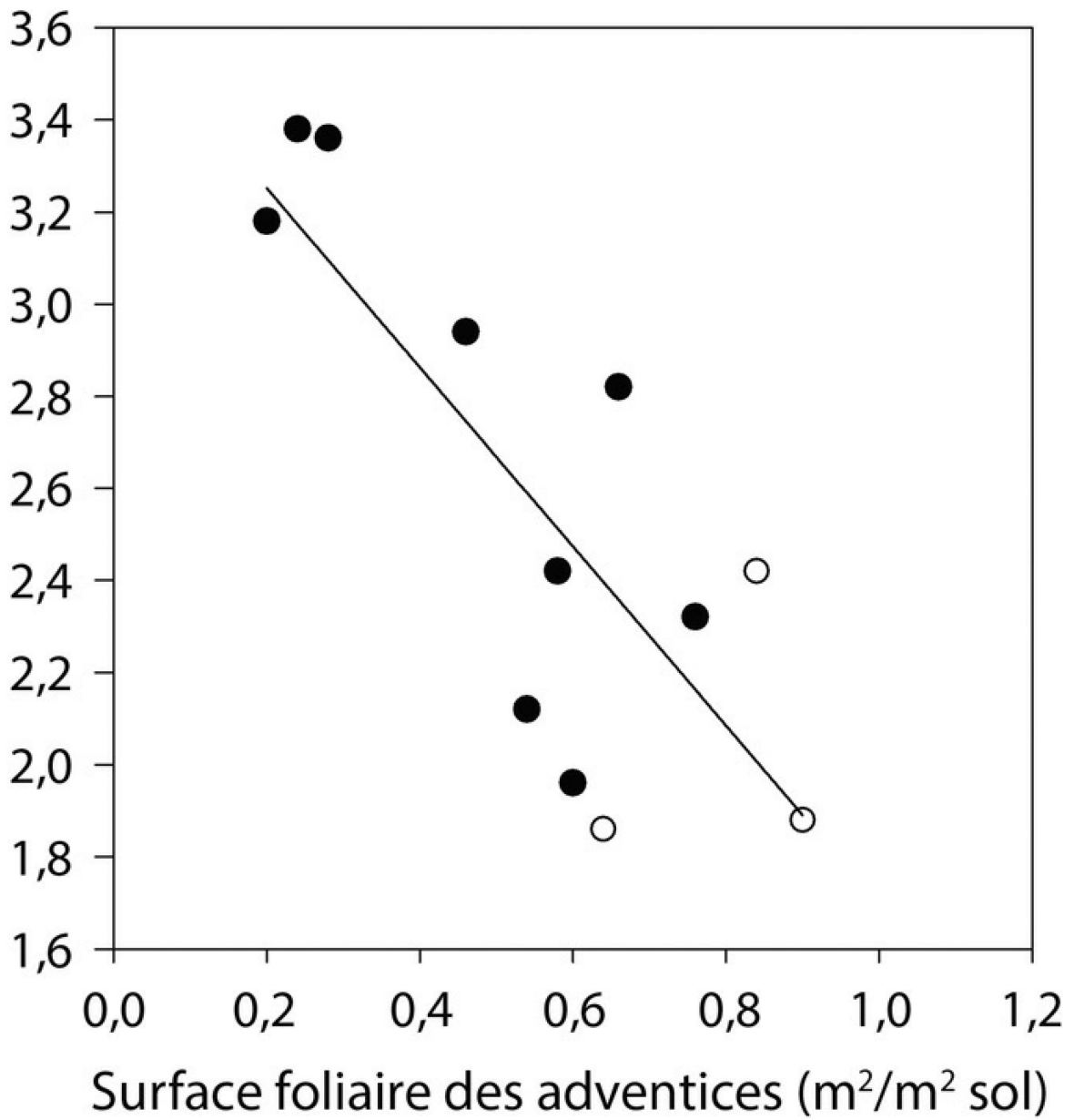
Le programme Fofifa-Cirad d'amélioration génétique du riz pluvial d'altitude a été lancé en 1984 (Raboin *et al.*, 2013). Il a pour objectif de sélectionner des variétés adaptées au contexte biophysique des Hautes Terres (froid, pression des maladies, faible fertilité) mais aussi au contexte socio-économique des exploitations (peu de moyens pour acheter des intrants chimiques). Dans les conditions froides d'altitude, une forte corrélation a été mise en évidence entre le développement végétatif des variétés de riz pluvial, mesuré en termes de surface foliaire, et le rendement en grain (fig. 2.2). Une corrélation a aussi été montrée entre le rendement en grain et la longueur du cycle. Dans des conditions sans fertilisation minérale, les variétés à cycle long et à fort développement végétatif accumulent au cours du temps plus d'azote provenant de la minéralisation, ce qui se traduit par un rendement plus élevé. Toutefois, l'allongement du cycle ne peut dépasser une certaine limite à cause des risques de froid et de stérilité qui augmentent lorsque l'on s'approche de la fin de la saison des pluies. De plus, les agriculteurs apprécient des variétés relativement précoces afin de raccourcir la période de soudure. Enfin, le fort développement végétatif permet au riz d'être plus compétitif vis-à-vis des adventices (fig. 2.2 ; Raboin *et al.*, 2014). Il est aussi nécessaire de sélectionner des variétés qui soient résistantes à la pyriculariose, une maladie fongique très présente, qui peut entraîner la perte totale de récolte dans les cas les plus graves (Pennisi, 2010), et contre laquelle la lutte chimique serait trop onéreuse. Il faut pour cela maintenir, dans le processus de sélection, des conditions épidémiologiques favorables à la maladie en apportant des fertilisants azotés et en utilisant des bordures de parcelles infestées constituées de variétés très sensibles. Elles facilitent la multiplication locale de la pyriculariose pour soumettre les nouvelles variétés sélectionnées à une forte pression de la maladie. Il a donc fallu trouver un compromis pour concilier sélection dans les conditions de « faibles intrants » et maintien d'une pression de sélection pour la résistance à la pyriculariose. L'utilisation des intrants a été fortement réduite au cours de la sélection généalogique sans les supprimer totalement. De plus, les phases finales de la sélection au cours desquelles

le rendement est évalué (essais variétaux) ont été dédoublées pour appliquer deux niveaux de fertilisation : sans ou avec recours aux intrants chimiques.

Rendement en grain (t/ha)



Surface foliaire des variétés de riz



Rendement en grain (t/ha)

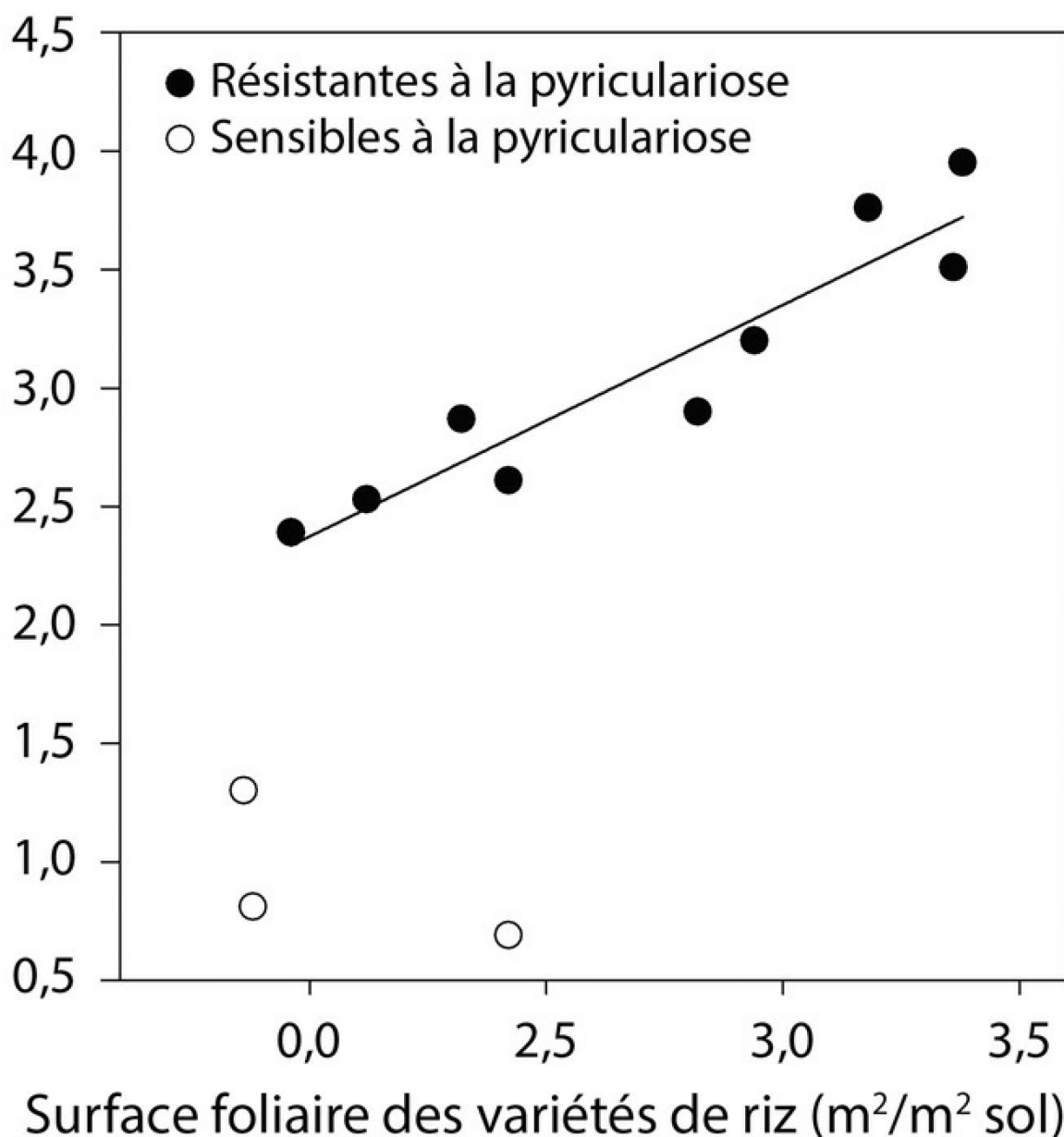


Figure 2.2. Relations entre rendement en grain, surface foliaire des adventices et surface foliaire des variétés observées à 1 650 m d'altitude sur un panel de 12 variétés de riz pluvial (Raboin *et al.*, 2014).

Conséquences sur les systèmes de production et le paysage

Plus de 20 variétés de riz pluvial d'altitude ont été proposées par la recherche aux paysans depuis 1994. L'expansion de la riziculture pluviale

jusqu'à plus de 1 800 m d'altitude a été rapide alors qu'elle n'était pas possible auparavant à ces altitudes faute de variétés adaptées. Ainsi, entre 2005 et 2011, le pourcentage des exploitations du Vakinankaratra situées au-dessus de 1250 m qui cultivent du riz pluvial est passé de 32 à 71 % (Raboin *et al.*, 2014). L'amélioration de l'efficacité à l'échelle des plants de riz a entraîné des changements dans les systèmes de culture pratiqués au sein des exploitations et une modification visible à l'échelle du paysage. Une évaluation participative de l'impact du riz pluvial d'altitude a été réalisée en 2015 et a mis en exergue son importance dans les stratégies paysannes centrées sur la sécurité alimentaire. Ces variétés de riz ont eu un impact notable sur l'amélioration de l'autosuffisance en riz (la période de soudure a été réduite de 3,7 mois pour 112 exploitations enquêtées) et sur le bien-être des ménages d'agriculteurs de la région Vakinankaratra (Breumier *et al.*, 2018).

Réduction des pertes en nutriments à l'échelle de l'exploitation

Les changements techniques dans le système d'élevage

L'utilisation des effluents d'élevage pour l'entretien de la fertilité des sols cultivés constitue la principale source fertilisante utilisée par les paysans. Toutefois, la valeur fertilisante du fumier varie de manière importante entre les exploitations. Ainsi des mesures auprès de 60 exploitants ont montré que la teneur en azote du fumier pouvait varier de 0,6 à 2,6 % (Salgado *et al.*, 2014). Les chercheurs malgaches associés au Cirad ont travaillé à mettre en évidence les principales sources de variabilité de sa qualité et à mesurer l'impact du fumier amélioré sur le rendement des cultures.

Sur la base de ces observations, les recommandations techniques pour améliorer la qualité du fumier sont de trois types : l'adjonction de paille de riz aux déjections, le pavage du sol des étables afin de limiter les pertes par infiltration, la gestion adéquate et la protection du fumier en attente d'être épandu sur le champ.

Les modes de gestion et de stockage influent fortement sur sa teneur en azote (Andriarimalala *et al.*, 2013). Il est important que les matières

végétales riches en carbone (pailles, feuilles mortes ou petites branches) soient déposées en bas du tas et que celles riches en azote (jeunes feuilles, pelures et surtout résidus animaux comme les déjections, les purins ou autres) soient déposées au-dessus. Cette technique favorise la dégradation par les micro-organismes qui utilisent l'azote des couches supérieures pour décomposer plus rapidement les parties riches en carbone des couches inférieures (Rabenandro *et al.*, 2009). De plus, il est préférable de disposer le tas de fumier dans des fosses à fumier couvertes (fig. 2.3) par un toit car cela permet de limiter les pertes de nutriments par lessivage lors des pluies ou par volatilisation due aux fortes températures (Salgado *et al.*, 2012).

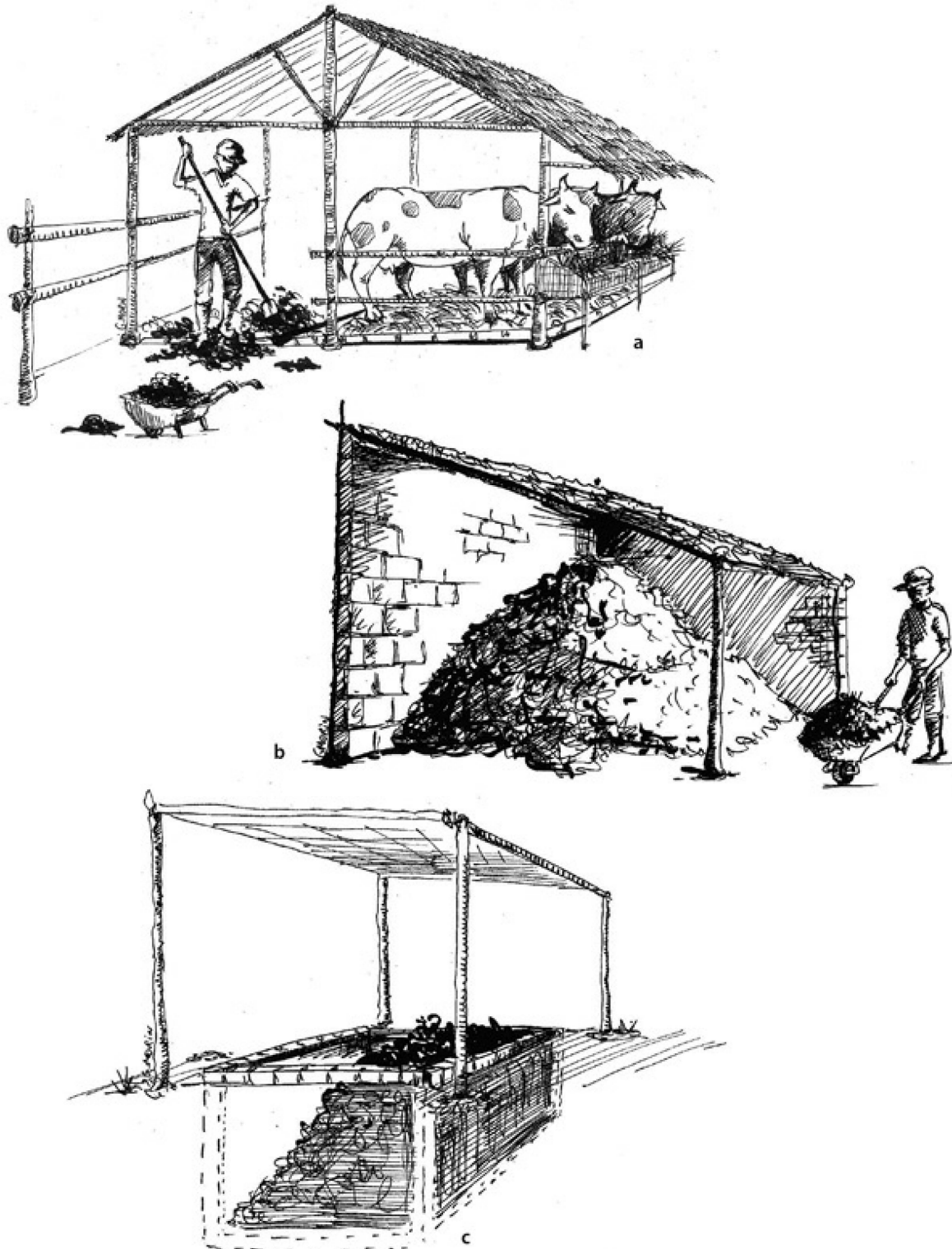


Figure 2.3. Pratiques d'amélioration du fumier : animaux dans un parc avec toit (a) ; mélange du fumier avec d'autres sources de matières organiques de l'exploitation (b) ; fumier couvert par un toit et disposé dans une fosse (c). Salgado *et al.* (2012), dessins G. Morin.

L'impact sur les systèmes de cultures

Les paysans disposent souvent d'une quantité de fumure organique faible par rapport aux surfaces de leurs parcelles et à leurs besoins. Ils choisissent par conséquent de fertiliser en premier les cultures qui apportent les revenus les plus importants à l'hectare. Il s'agit le plus souvent des cultures maraîchères en contre-saison sur les rizières. Les parcelles pluviales (*tanety*), les moins fertiles, sont pour cette raison les moins fertilisées. La diminution des pertes en nutriments par l'amélioration du processus de fabrication du fumier est donc une voie de choix pour améliorer les ressources limitées de l'exploitation et ouvrir d'autres voies de valorisation. Ainsi, l'utilisation du fumier amélioré a été comparée à celle du fumier conventionnel sur le rendement en riz pluvial dans deux parcelles côte à côte, chez 19 paysans en 2014 et 2015 (fig. 2.4). Les deux années, le rendement en riz pluvial a été plus élevé d'environ 1 t/ha avec le fumier amélioré. Dans ce cas, le fumier amélioré était environ deux fois plus riche en éléments nutritifs avec 26 g N/kg MS (d'azote par kilogramme de matière sèche) et 5,5 g P/kg MS (de phosphore par kilogramme de matière sèche) contre 13 g N/kg MS et 3,6 g P/kg MS pour le fumier conventionnel.

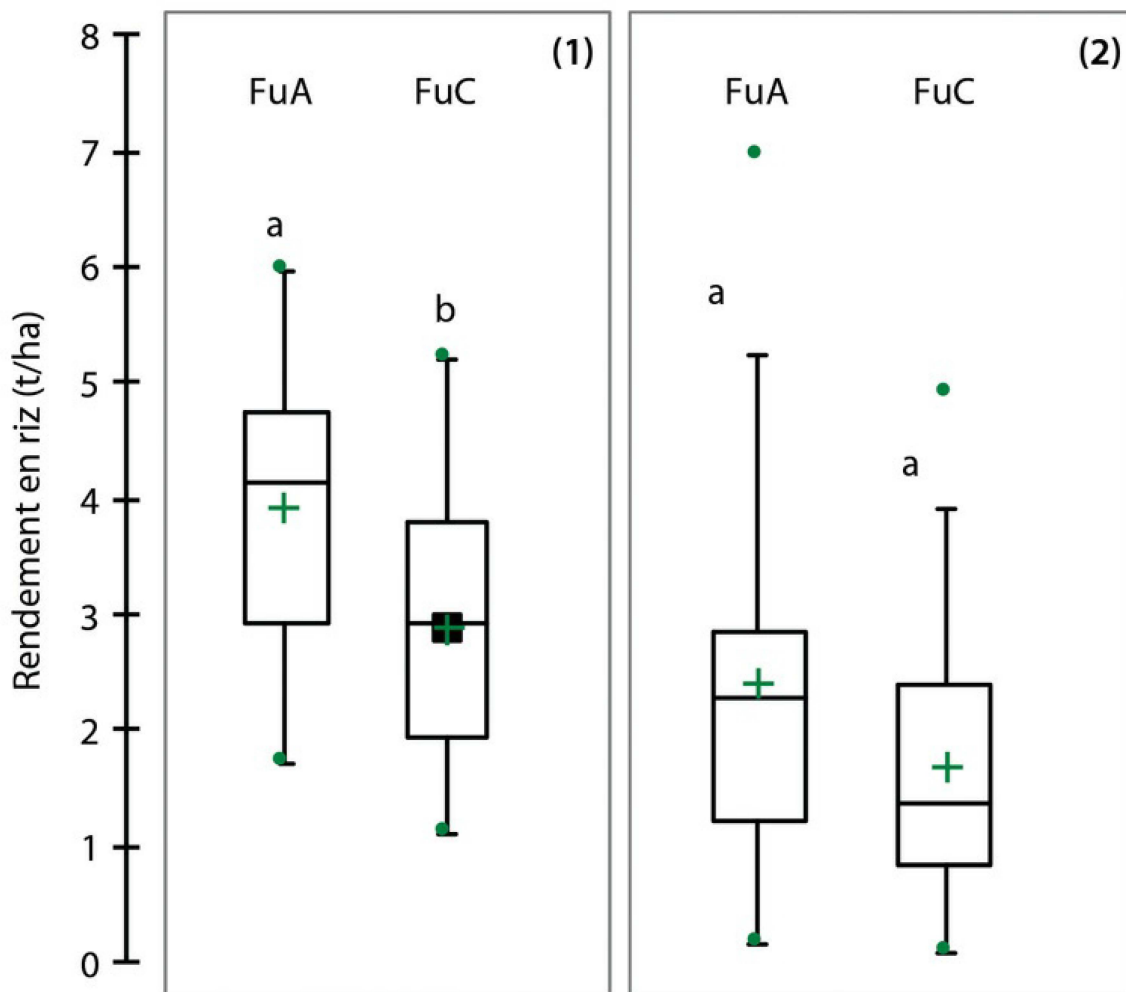


Figure 2.4. Rendement en grain du riz pluvial en 2014 (1) et 2015 (2) en fonction du type de fumier utilisé (Rasolofo, 2017).

FuA : fumier amélioré ; FuC : fumier conventionnel. Les lettres correspondent à la différence des traitements à l'intérieur d'une année, parcelles test de Tukey HSD, $\alpha = 0,05$. N = 19 parcelles paysannes par an, variété 'Chhomrong Dhan', même source de fumier amélioré pour toutes les parcelles.

L'impact à l'échelle de l'exploitation encore peu étudié

Les travaux sur l'impact socio-économique de l'amélioration du fumier ont montré que l'adoption de ces pratiques ne se traduit pas par une augmentation significative du coût de production du fumier, malgré les investissements et le travail supplémentaires.

L'augmentation de l'efficacité dans l'utilisation du fumier vise à accroître

la production végétale, tout en valorisant au mieux les ressources de l'exploitation par la réduction des pertes de nutriments, à l'échelle du système de production. Du point de vue des paysans, cette solution technique n'est pas en contradiction avec l'utilisation de fertilisants minéraux. La plupart connaissent bien les effets synergiques entre les fumures minérale et organique. Ils privilégient donc des solutions d'intensification écologique, au sens de Griffon (2013), combinant solution agro-écologique et intrants minéraux. Toutefois, comme d'autres techniques agro-écologiques, la contrepartie est que cela entraîne plus de travail et de technicité, avec des conséquences sur l'organisation du temps investi, soit sur l'aménagement des espaces de gestion des fumiers, soit en apprentissage. Les motivations amenant les producteurs à cet investissement restent à approfondir.

Les innovations basées sur la refonte des systèmes

Nous présenterons ici deux exemples de refonte des systèmes de culture, d'abord à travers la diversification intraspécifique (mélange de variétés) pour lutter contre une maladie du riz à différentes échelles, puis la diversification supraspécifique (différentes espèces de plantes) associée à des changements de gestion de travail du sol (agriculture de conservation) pour améliorer la fertilité et lutter contre les bioagresseurs (adventices).

Mélanges de variétés pour lutter contre la pyriculariose

À l'échelle de la parcelle

La pyriculariose, déjà depuis longtemps au cœur du programme de sélection pour le riz pluvial, est une maladie causée par le champignon pathogène *Magnaporthe oryzae* (Ou, 1985). Les symptômes apparaissent en premier lieu sur les feuilles, ce qui réduit la surface foliaire utile à la photosynthèse, puis, au niveau des tiges paniculaires, les nécroses vont empêcher le remplissage des grains (fig. 2.5a). Les premières variétés de riz pluvial adaptées à l'altitude ont été rapidement attaquées et les variétés

plus récentes, désormais sélectionnées sous pression de pyriculariose, sont beaucoup plus tolérantes, mais le pathogène s'adapte très vite et les risques de contournement des résistances sont importants.

Plusieurs voies ont été explorées pour limiter la pression de pyriculariose sur le riz pluvial et retarder le risque de contournement des résistances des nouvelles variétés. La première est l'utilisation de variétés en mélange, dispositif qui a fait ses preuves dans de nombreux systèmes plante-pathogène. Les chercheurs ont testé l'impact de la pyriculariose sur une variété très sensible cultivée pure ou en mélange avec une variété résistante (Raboin *et al.*, 2012 ; Raveloson *et al.*, 2016 ; fig. 2.5b). Les mélanges ont permis de réduire significativement la sévérité de la maladie sur les variétés sensibles. Le déploiement de ce type de mélange pourrait permettre de continuer à cultiver certaines variétés sensibles particulièrement prisées par les consommateurs même en cas de pression de la maladie. Les effets des mélanges variétaux sur la dynamique des épidémies relèvent de plusieurs mécanismes : un effet de dilution, une barrière physique à la propagation des spores entre les plantes sensibles, et la résistance induite qui viendrait d'interactions entre plantes.



Figure 2.5a. Symptôme typique de pyriculariose paniculaire (panicule stérile). © Mathilde Sester / Cirad.

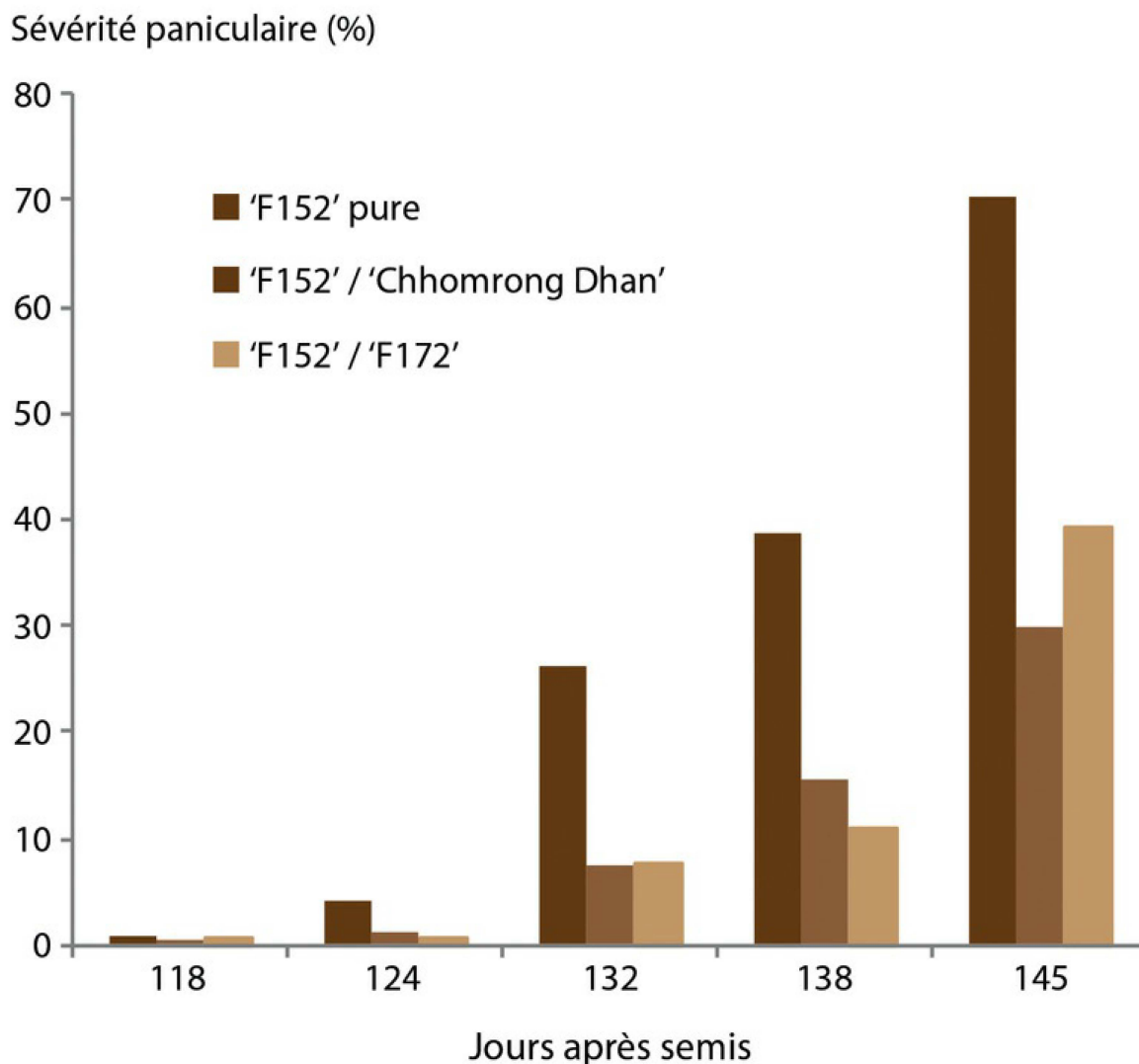


Figure 2.5.b. Évolution du pourcentage de grains attaqués par la pyriculariose sur la variété 'F152' (sensible) cultivée pure ou en mélange (une ligne de sensible pour quatre lignes de résistantes) avec les variétés 'Chhomrong Dhan' (tolérante) ou 'F172' (résistante), en 2012.

Les mélanges variétaux, comme la sélection de variétés, permettent aux paysans de continuer à cultiver du riz pluvial sans avoir à utiliser de fongicides pour lutter contre la pyriculariose.

À l'échelle du paysage

La pression de pyriculariose en culture pluviale a fortement diminué en conditions paysannes depuis la diffusion massive d'une variété tolérante ('Chhomrong Dhan'). Cependant, cette situation semble fragile si l'agent

pathogène s'adaptait à cette variété. Un modèle a été programmé en langage Ocelet (Degenne et Lo Seen, 2016) pour mettre en évidence l'impact de la gestion agronomique de chaque parcelle et de la diversité variétale à l'échelle du paysage sur le risque de propagation de la maladie (Raveloson *et al.*, 2016 ; Sester *et al.*, 2016). Ce modèle permet notamment de comparer un paysage cultivé avec une ou deux variétés de riz pluvial (exemple de résultat après cinq ans de simulation, fig. 2.6). Le nombre de parcelles touchées et la sévérité de la maladie augmentent beaucoup plus rapidement si une seule variété est cultivée uniformément dans le paysage.

Ces travaux montrent que les solutions de lutte agro-écologique contre les bioagresseurs font souvent appel à des solutions à des échelles au-delà de la simple plante que l'on cherche à protéger.

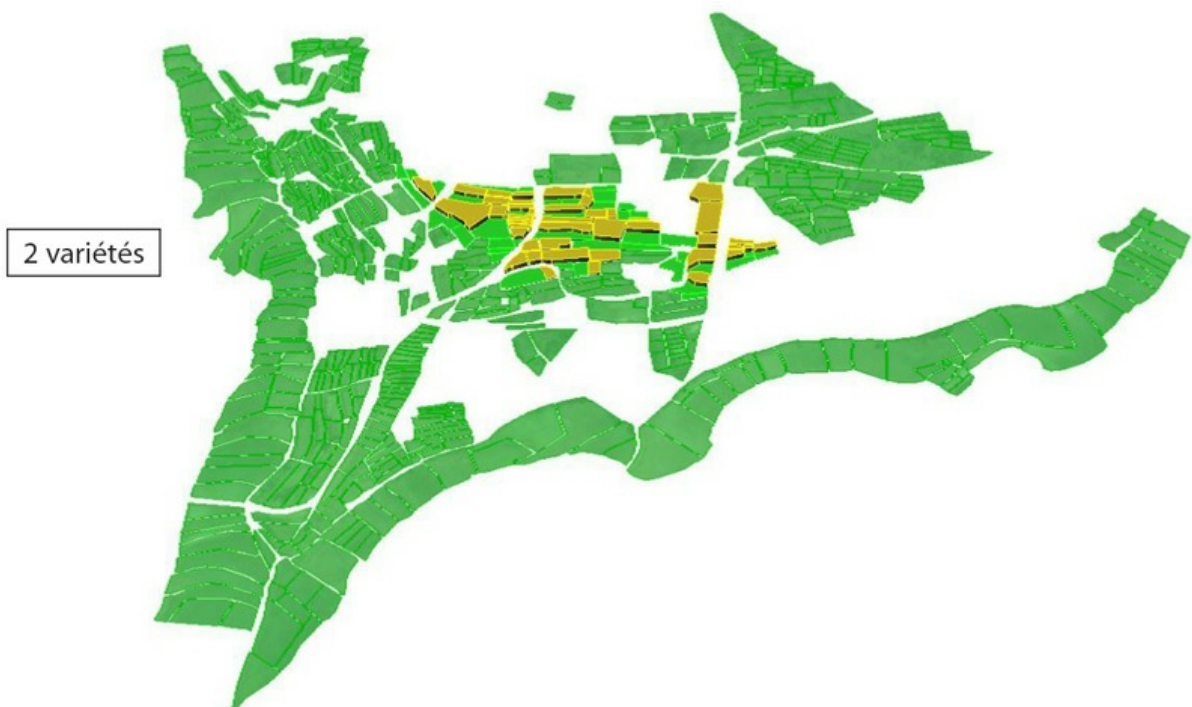




Figure 2.6. Simulations de cinq ans de l'attaque de pyriculariose sur un paysage agricole malgache dans lequel toutes les parcelles sont cultivées en riz chaque année.

a : une variété en rizière et deux variétés. b : une variété en rizière et une variété en pluvial.

L'infestation initiale est identique dans les deux cas. La hauteur des pavés colorés est proportionnelle au niveau d'attaque par la maladie.

Gestion des sols et diversification interspécifique : l'agriculture de conservation

En réponse à l'expansion des cultures pluviales sur les collines dans la région des Hautes Terres, des systèmes de culture alternatifs basés sur l'agriculture de conservation (fondée sur trois principes : non-labour, maintien d'un couvert permanent du sol, rotation des cultures) ont été recommandés pour réduire l'érosion et améliorer la durabilité de ces systèmes de culture (Husson *et al.*, 2013). L'agriculture de conservation est une alternative systémique, tenante de l'agro-écologie, en ce sens où elle vise à la fois à augmenter la production en mobilisant de nombreuses fonctions agro-écologiques des plantes de couverture et de la biomasse produite (Ranaivoson *et al.*, 2017), et à réduire les impacts négatifs de la mise en culture sur les sols en cessant de les perturber par le travail mécanique. Cette même appellation, agriculture de conservation ou système de culture sur couverture végétale, correspond à une grande

diversité de systèmes de culture aux performances variées. Sur les Hautes Terres, les résultats en termes de réduction de l'érosion sont tout à fait nets. Ainsi, une expérience menée de 2004 à 2009 a montré que les pertes moyennes par érosion en carbone, azote et phosphore dans les systèmes en labour étaient respectivement de 336, 26 et 7 kg/ha/an contre 6,35, 0,53 et 0,14 kg/ha/an dans un système en agriculture de conservation (Razafindramanana *et al.*, 2017).

Des résultats mitigés pour le rendement du riz pluvial

Un dispositif expérimental a été mis en place en 2004 à Andranomanelatra, sur les Hautes Terres (1 640 m), afin d'évaluer les performances en rendement grain et en production de biomasse de systèmes en agriculture de conservation, gérés en rotation biennale avec du riz pluvial. Ces systèmes ont évolué au cours du temps, comme le montre la figure 2.7.a, vers la production de plus de biomasse par la rotation du riz (nous avons retenu ici les systèmes proposés à base de maïs associé à une légumineuse). Les rendements en riz, inférieurs les premières années en système de culture sur couverture végétale par rapport au système comprenant le labour, sont devenus comparables à partir de la sixième année (fig. 2.7.b).

Biomasse produite hors grain (kg/ha)

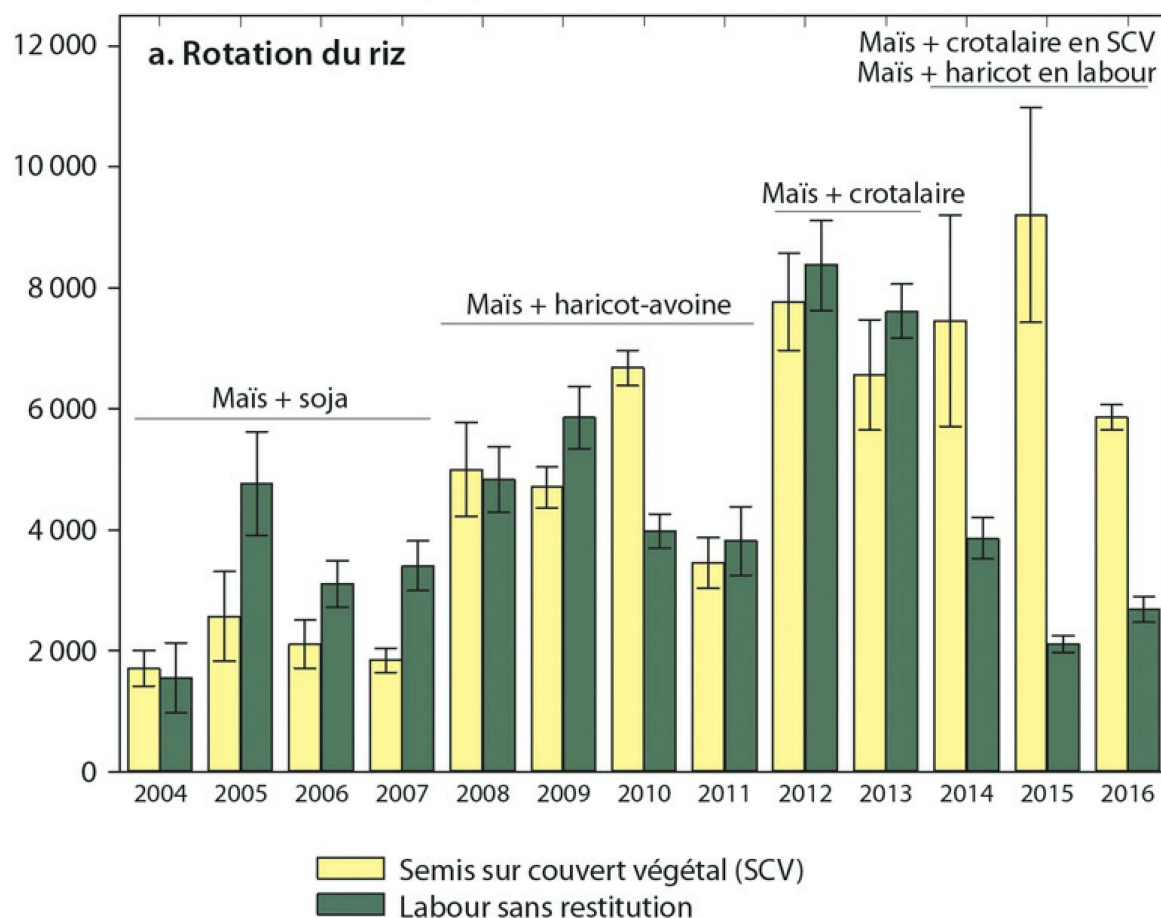


Figure 2.7.a. Évolution des productions en biomasse des cultures en rotation avec le riz pluvial sur le dispositif expérimental d'Andranomanelatra de 2004 à 2016 (données non publiées).

Rendement en riz (kg/ha)

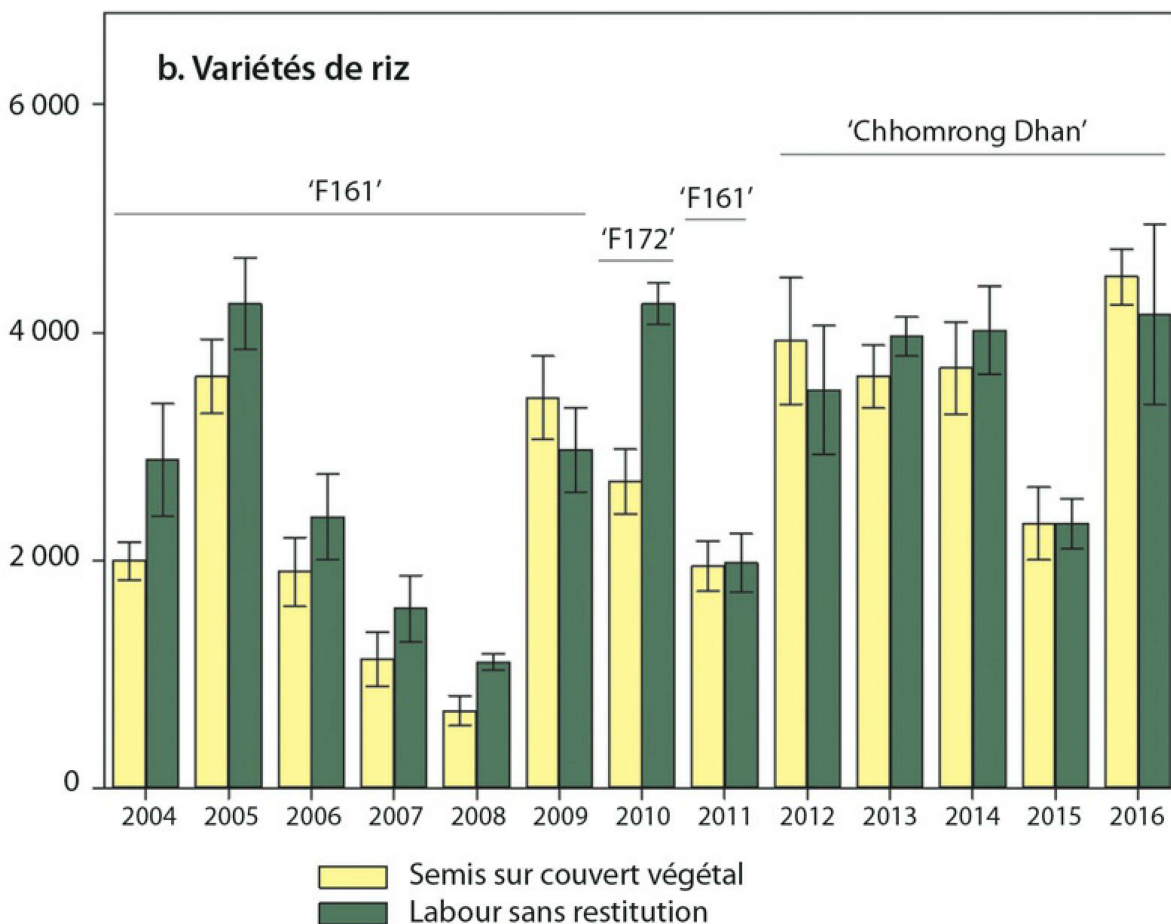


Figure 2.7.b. Évolution de la production de riz pluvial sur le dispositif expérimental d'Andranomanelatra de 2004 à 2016 (données non publiées).

Une étude plus précise sur certains systèmes (2005 à 2007) avait montré que l'établissement de la culture était plus difficile en agriculture de conservation, avec une croissance racinaire plus lente, et entraînait une réduction du développement du riz et de l'absorption de l'azote (Dusserre *et al.*, 2012). Pourtant dans les mêmes conditions, ces systèmes avaient montré leur capacité à fournir plus d'azote, mais celui-ci n'était pas valorisé par la culture (Rakotoarisoa *et al.*, 2010).

Des effets contradictoires sur la pyriculariose

La dynamique des épidémies de pyriculariose a été mesurée dans les systèmes en agriculture de conservation sur les Hautes Terres. En système conventionnel, les suivis ont permis de montrer que l'épidémie évolue plus

rapidement dès les premiers signes d'attaque foliaire. En agriculture de conservation, à la récolte, le pourcentage de grains vides à cause de la maladie est généralement plus faible, notamment grâce à une assimilation différente de l'azote (Dusserre *et al.*, 2017 ; Sester *et al.*, 2014). Cependant, la densité de peuplement du riz plus faible en agriculture de conservation qu'en système avec labour pourrait aussi être à l'origine de ces différences d'épidémie. En outre, les systèmes en agriculture de conservation préconisant de laisser les pailles de riz sur les parcelles sont peu compatibles avec des mesures de prévention en cas d'apparition de la maladie. Les travaux du Cirad et du Fofifa ont en effet montré que les pailles pouvaient servir de réservoir de spores de pyriculariose jusqu'à 18 mois après la récolte (Raveloson *et al.*, 2018). Ceci est un exemple de compromis auxquels font face les paysans dans la pratique de l'agro-écologie. La recherche doit s'attacher à mieux quantifier ces effets contradictoires pour donner les éléments de décision adéquats aux structures de développement, décideurs politiques et administratifs et paysans.

Une pratique encore peu adoptée sur les Hautes Terres

L'absence de résultats nets et rapides sur le rendement des cultures, la compétition pour les résidus, la haute technicité des systèmes en agriculture de conservation font que celle-ci n'est encore que très peu pratiquée par les agriculteurs des Hautes Terres (Hartog *et al.*, 2011 ; Randrianarison *et al.*, 2007). Si globalement le temps de travail est diminué en agriculture de conservation du fait de la suppression du labour manuel, cela ne suffit pas à contrebalancer d'autres problèmes techniques, et en particulier celui de l'efficacité des diverses plantes de couverture associées. En outre, la plupart des paysans n'ont pas la capacité de financement nécessaire à la mise en place de ces systèmes initialement très intensifs tels qu'ils ont été préconisés par leur promoteurs (Cavellier de Cuverville *et al.*, 2010). Le temps de retour sur investissement est souvent trop long.

L'analyse en cohortes (Randrianarison *et al.*, 2007) de la diffusion des techniques en agriculture de conservation autour de la station de Tafa a permis d'établir les principales raisons d'abandon :

– l'effet tampon de ces systèmes sur le bilan hydrique du sol n'est pas déterminant dans l'environnement des Hautes Terres ;

- les coûts de production relatifs à l'adoption de ces systèmes sont trop importants pendant la phase d'installation ;
- au-delà de la cinquième année d'adoption, les motifs d'abandon évoqués par les exploitants sont généralement d'ordre économique (une augmentation des rendements et de la marge brute par hectare non significative pour les producteurs et un faible retour sur investissement) et social (difficulté à gérer la vaine pâture et extrême difficulté à organiser les producteurs en associations ou coopératives).

Une étude plus large sur les zones d'intervention du projet « Bassins versants périmètres irrigués Sud-Est Hauts Plateaux » (BVPI/SE-HP) a montré les mêmes contraintes pour les mêmes effets (Hartog *et al.*, 2011), avec également une confiance éprouvée et ancienne dans l'efficacité du labour qui n'est pas remise en question par les effets attendus de l'agriculture de conservation en condition de non-labour. Ainsi, la majorité des paysans estiment les sols compactés après cinq ans d'agriculture de conservation. Les stratégies paysannes locales sont clairement orientées par des préoccupations de court terme avec la nécessité d'une autosuffisance alimentaire et une valorisation rapide des productions en cas d'excédents, alors que l'agriculture de conservation demande une gestion des moyens et une projection de la production à long terme. Il n'y a pas d'espace possible pour de la jachère améliorée non productive par exemple. Le froid en saison sèche, l'absence de plante de service localement adaptée et la non-augmentation des rendements (en l'absence d'utilisation d'engrais minéraux) ont clairement limité l'intérêt de l'agriculture de conservation. Les rares paysans ayant adopté les systèmes de celle-ci sont les plus aisés, pour lesquels les contraintes techniques ou sociales sont moins fortes (Hartog *et al.*, 2011). Ces faisceaux de contraintes sont similaires à ceux que l'on retrouve ailleurs en Afrique pour ce type de systèmes (Corbeels *et al.*, 2014).

De meilleurs résultats agronomiques dans le Moyen-Ouest

Plus récemment, des travaux ont été menés dans le Moyen-Ouest afin d'étudier plus précisément les dynamiques de l'azote dans le sol des systèmes de culture sur couverture végétale et l'impact de différents types de résidus de culture sur le riz. Premièrement, une expérimentation de courte durée sur la rotation riz pluvial / *Stylosanthes guianensis* a montré que, même si le *Stylosanthes* est capable de fixer de grandes quantités

d'azote atmosphérique et de produire une biomasse importante, la restitution finale en azote au riz était faible les premières années de culture (5 à 8 % de l'azote issu du *mulch* de *Stylosanthes* sont utilisés par le riz selon Zemek *et al.* [2018]). En revanche, sur un autre dispositif plus ancien, en milieu paysan sur deux années de systèmes à base de riz pluvial et de *Stylosanthes* âgés de quatre à dix années (fig. 2.8), les rendements en riz sont améliorés en systèmes de culture sur couverture végétale après une culture de *Stylosanthes* ; mais ce système en agriculture de conservation nécessite plus de travail, notamment au semis de par la présence d'une forte épaisseur de couverture sur le sol (8 t/ha MS en moyenne).

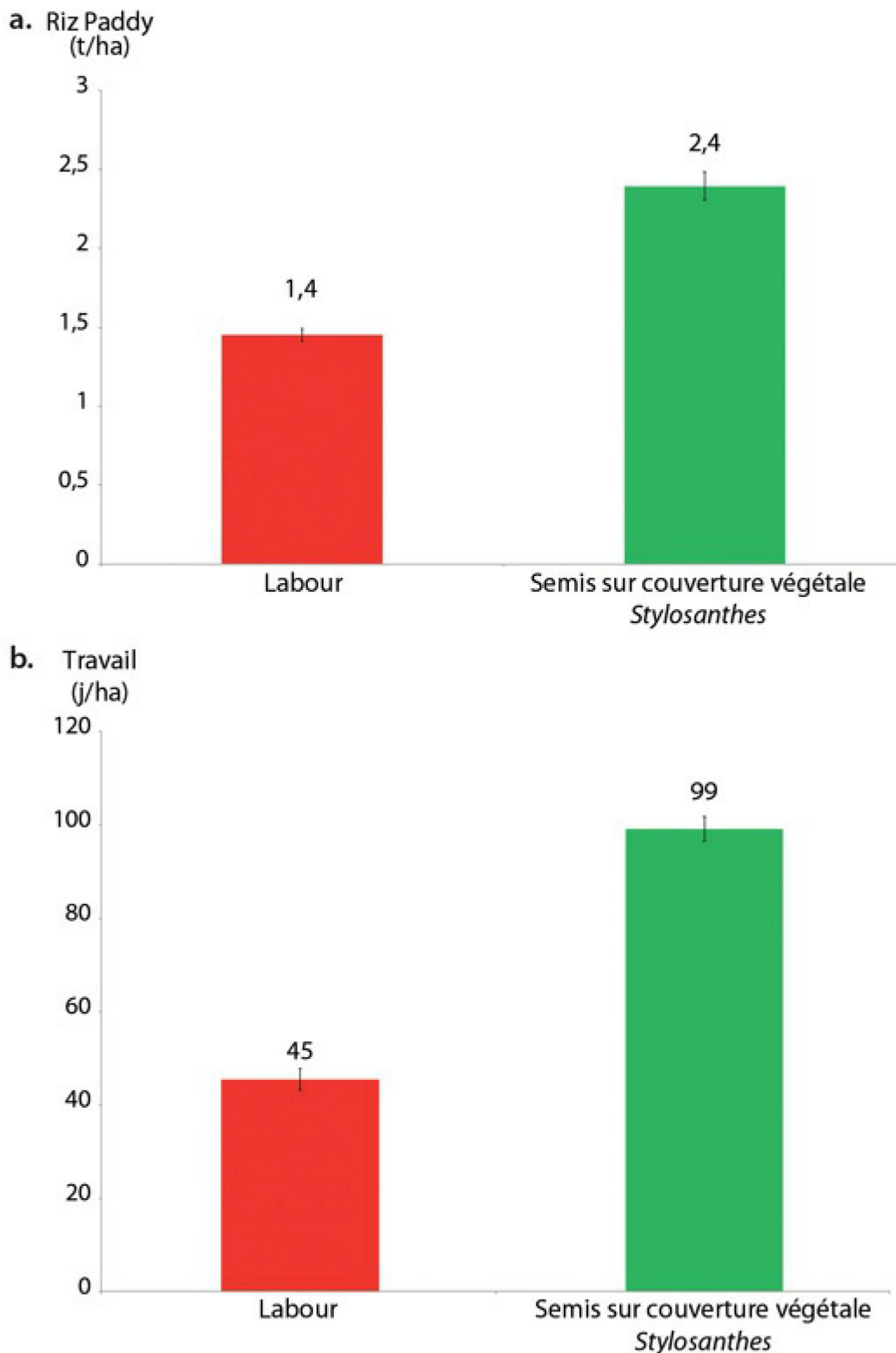


Figure 2.8. a : comparaison des rendements en milieu paysan pour une culture de riz sur labour (24 parcelles) ou en agriculture de conservation avec une couverture de *Stylosanthes guianensis* (19 parcelles), récoltes 2016 et 2017 (Autfray *et al.*, 2018). b : comparaison des temps de travail en milieu paysan pour une culture de riz sur labour (24 parcelles) ou en agriculture de

conservation avec une couverture de *Stylosanthes guianensis* (19 parcelles), récoltes 2016 et 2017 (Autfray *et al.*, 2018).

Alors que le *Stylosanthes* a été introduit pour sa capacité à coloniser rapidement des sols pauvres, il a aussi la capacité de maîtriser le striga, plante-parasite emblématique de cette région, sur les cultures de riz et de maïs. Sur la récolte 2015, chez sept agriculteurs partenaires, il a été montré que la variété 'B22', très appréciée mais très sensible au striga, avait le même niveau de rendement (1,8 t/ha en moyenne) que la variété 'NERICA4', nouvellement introduite et résistante au striga, quand elle était cultivée en rotation avec du *Stylosanthes*. En moyenne, sur un dispositif expérimental pendant quatre années consécutives sur labour, le taux d'infestation de 'B22' par rapport à 'NERICA4' est environ dix fois supérieur, engendrant des rendements plus faibles. Mais le taux d'infestation comparé sur la même période est réduit de 2,1 à 0,4 plants/m² avec un système incluant du *Stylosanthes* et de 3,4 à 0,3 plants/m² sur maïs (Randrianjafizanaka *et al.*, 2018).

Un début d'adoption dans le Moyen-Ouest

L'expérience historique de diffusion des systèmes de culture sur couverture végétale autour d'Ivory dans le moyen-ouest depuis 1998 montre que les paysans ont des difficultés à adopter durablement l'agriculture de conservation sans un appui continu de techniciens.

Deux études sur les communes d'Ankazomoriotra et Vinany, dans une zone de moyenne altitude (900 - 1 100 m) (Quiennec *et al.*, 2013 ; Sorèze, 2010), ont permis de caractériser les exploitations agricoles, d'identifier une typologie, de mesurer l'adoption des systèmes en agriculture de conservation (cinq ans après leur introduction), en fonction des types et de la taille des exploitations agricoles. Dans la zone de travail de l'opérateur de développement Fafiala, depuis 2005, les exploitants les plus modestes obtiennent, après adoption des systèmes en agriculture de conservation, un revenu agricole net inférieur à ce qu'il serait en système traditionnel. En revanche, les exploitants possédant une surface agricole moyenne à grande (supérieure à 5 ha) augmentent leurs surfaces cultivées grâce à l'adoption des systèmes en agriculture de conservation (du fait de la réduction du temps de jachère). Il en découle une augmentation de leur revenu agricole net. Au total, sur 1 318 ha suivis par le projet financé par l'AFD « Bassins

versants périmètres irrigués, Sud-Est, Hauts Plateaux » (BVPI-SE-HP), 450 ha étaient en agriculture de conservation en 2011 (Penot *et al.*, 2011). Les enquêtes ont aussi révélé que les systèmes en agriculture de conservation étaient efficaces contre les effets du striga, ce qui a permis de maintenir des rotations axées principalement sur les céréales. En revanche, les temps de travaux ont été significativement augmentés pour les systèmes à base de *Stylosanthes* spp. Les études de modélisation des revenus (Charentenay et Penot, 2012) ; ont montré un léger impact positif sur les revenus (entre 10 et 19 % de plus sur cinq ans) car l'effet de l'adoption de l'agriculture de conservation ne s'est fait sentir qu'à moyen terme avec la stabilisation des productions, sans une augmentation significative des rendements. Un tel changement de paradigme et de stratégie paysanne du court au moyen terme ne se fait pas en moins de six ans. Si l'agriculture de conservation reste pour l'instant problématique et peu adaptée pour les Hautes Terres dans un contexte foncier et social très particulier, dans le Moyen-Ouest, elle constitue en revanche une alternative potentielle de développement agricole durable, de par la diversité des systèmes proposés et la possibilité de maintenir une production de céréales malgré la présence du striga.

Quelles modifications l'agro-écologie induit-elle dans le travail de recherche ?

Le travail de longue date sur des solutions agro-écologiques a amené les chercheurs à travailler différemment notamment pour ce qui est des interactions avec les agriculteurs.

Sélection participative

La sélection participative consiste à associer plus étroitement les petits agriculteurs à la création, la sélection et la diffusion de matériel végétal et sous-entend un dialogue ou un échange permanent entre les agriculteurs et les chercheurs. Pour obtenir un meilleur ajustement des variétés de riz pluvial aux besoins des paysans, une partie du travail de sélection doit être réalisé chez eux et avec leur participation (photo 2.1). C'est d'autant plus important pour les exploitations agricoles peu intensifiées et donc particulièrement soumises à l'hétérogénéité des conditions environnementales. C'est pourquoi un réseau d'évaluation variétale

participative est mis en place chaque année en partenariat avec des acteurs qui ont beaucoup varié au cours du temps (organisations paysannes, ONG, projets, institutions de recherche ou de formation). Le programme de sélection du riz pluvial est d'ailleurs en train d'évoluer vers une plus grande implication des paysans en les associant plus en amont dans le processus de sélection, y compris dans les phases qui se déroulent sur les stations expérimentales. C'est par cette approche que quatre nouvelles lignées ont été identifiées comme plus performantes et plus appréciées que les témoins correspondant aux deux écologies ciblées.



Photo 2.1. Évaluation participative des nouvelles lignées de riz pluvial par des groupes de paysannes dans le Moyen-Ouest en 2015. L'approche participative permet par exemple de prendre en compte les préférences de choix liées au genre dans le processus de sélection. © Kirsten Vom Brocke / Cirad.

Plateforme d'innovation

Dans le moyen-ouest du Vakinankaratra, le projet de recherche Stradiv^[4] permet de tester de nouvelles démarches de conception participative de

systèmes de culture, en s'appuyant sur un lien permanent entre des activités réalisées sur des fermes de référence et celles du dispositif expérimental d'Ivory proche. Ce site intègre la sélection du riz pluvial, différentes expérimentations thématiques et un référentiel technique de formation du groupement du Semis direct à Madagascar. Sur les fermes de référence sont réalisés en permanence des diagnostics thématiques des contraintes et un suivi des performances des différentes parcelles. La sélection de systèmes innovants est d'abord entreprise avec un dispositif expérimental spécifique permettant une co-évaluation des chercheurs et des agriculteurs sur un grand nombre de modalités en bandes croisées (*strip-plot*). Dans un deuxième temps, les systèmes de culture sont mis en œuvre par des paysans dans des fermes de référence pour une évaluation économique et d'intégration à l'échelle de l'exploitation agricole. L'intérêt de cette démarche est d'associer les savoirs locaux et les connaissances scientifiques sur des pratiques et des modèles techniques, pour sélectionner plus rapidement les meilleurs agencements et modes de gestion de cultures, dans l'espace et le temps (Autfray *et al.*, 2018).

Évaluation à l'échelle de l'exploitation et gestion des compromis

Comme nous l'avons montré dans les exemples précédents, les agriculteurs peuvent être contraints de faire des compromis entre différents objectifs dans leurs pratiques agro-écologiques. Par exemple, garder les pailles de riz sur le sol peut aider à protéger le sol contre l'érosion mais en même temps va réduire la quantité de fumier de qualité produite et peut maintenir la pression des maladies fongiques. Il importe donc d'évaluer les options techniques sur leurs différentes facettes. Par exemple, Rasolofo (2017) a étudié la performance de trois systèmes de culture sur le plan de leur productivité, du potentiel de maintien de la teneur en carbone du sol et de la possibilité de valorisation de la biomasse aérienne comme ressource fourragère. La figure 2.9 montre l'impact de l'exportation hors de la parcelle de 0 à 100 % des résidus sur la production de lait possible grâce à ces résidus et la quantité d'azote retournant au sol par les résidus restants. On peut constater qu'il est possible d'augmenter sensiblement la production de lait sans grever fortement le retour d'azote à la parcelle par les résidus végétaux. En effet, une part des restitutions en azote provient des racines qui, de toute façon, seront laissées dans le sol même en cas d'exploitation totale de la biomasse aérienne. Les recommandations

devront s'adapter aux contraintes et objectifs des paysans en termes de production et de maintien de la fertilité, qui diffèrent suivant les types d'exploitations.

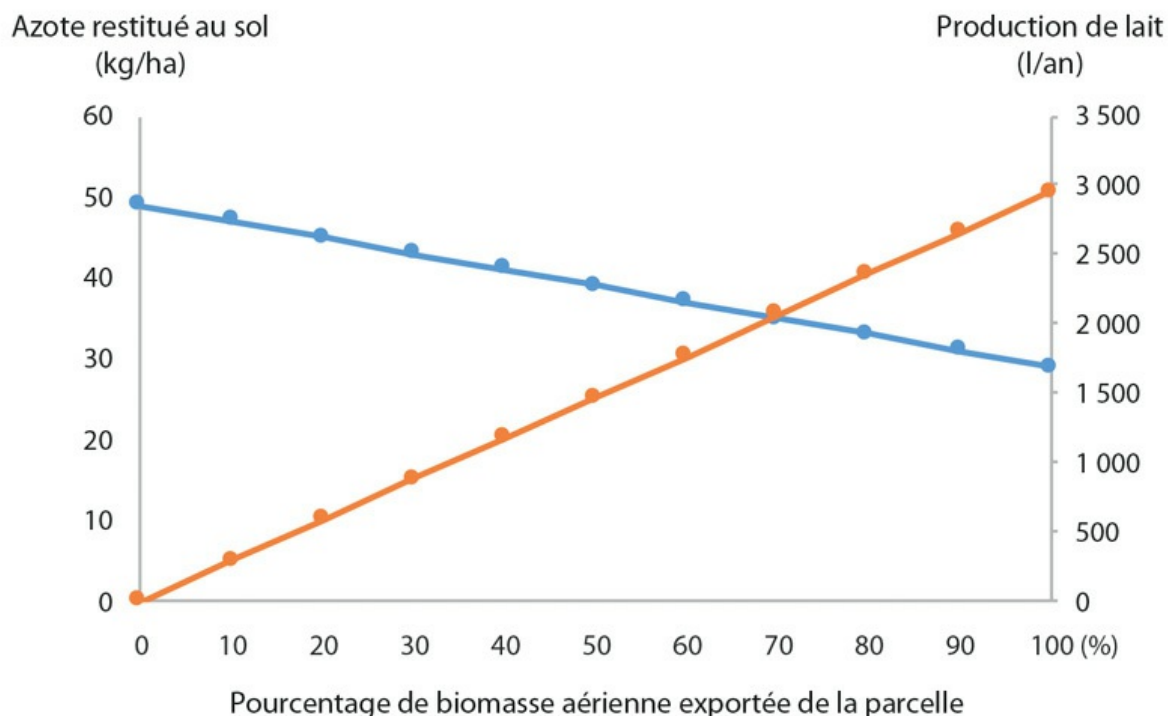


Figure 2.9. Simulation de la quantité d'azote des résidus de culture retournant au sol (axe gauche) et de la quantité de lait (axe droit) pouvant être produite, en utilisant de 0 à 100 % (x) de la biomasse végétative aérienne d'un système d'une rotation riz pluvial / maïs + haricot (Rasolofo, 2017).

Conclusion

Plus de vingt années de recherches et de développement sur l'agro-écologie dans le Vakinankaratra ont débouché sur des degrés variés d'adoption des innovations mises au point par les chercheurs avec les paysans. Il existe notamment des différences à l'intérieur de la région qui s'expliquent en partie par les performances des systèmes de culture, la pression sur les résidus, et les problèmes agronomiques, économiques et sociaux auxquels les agriculteurs font face.


La pratique de l'agriculture de conservation implique des modifications assez profondes, non seulement des systèmes de culture, mais également des systèmes de production : allocation des terres, répartitions du travail.

De plus, dans un contexte où les agriculteurs n'ont pas facilement accès à des référents techniques, l'adoption de ces nouveaux systèmes complexes représente un risque important d'échec technique. Ainsi, beaucoup d'agriculteurs dont les conditions économiques sont très précaires, sont réticents à modifier de manière drastique leur système de production à cause des risques que cela fait courir sur leur sécurité alimentaire et économique. Dans ce contexte, ce sont les innovations les plus simples et les moins risquées qui sont reprises en premier par les paysan(ne)s. Ainsi l'adoption de nouvelles variétés de riz pluvial importées ou sélectionnées localement a été très rapide. Ces variétés présentent l'avantage d'être très adaptées aux systèmes de cultures préexistants qui n'utilisent que peu ou pas d'engrais minéraux ni d'herbicide. Elles ont permis d'accroître la production en riz et de contribuer à la sécurité alimentaire de la région sans avoir à faire appel à des itinéraires techniques compliqués.


On n'a pas assisté pour l'instant à une refonte profonde des systèmes de production dans le Vakinankaratra sous l'impulsion des recherches menées en agro-écologie. Néanmoins, comme nous avons pu le voir, de par la création de nouveaux outils structurant les interactions avec les acteurs locaux dans une démarche participative, petit à petit, des composantes de « systèmes agro-écologiques » plus complexes sont adoptées : variétés, amélioration de l'efficacité du recyclage des nutriments, culture de plantes de service pour lutter contre le striga et/ou produire des fourrages... Les agriculteurs du Vakinankaratra bénéficient d'un panel d'options techniques qu'ils commencent à mettre à œuvre. On peut donc s'attendre à ce que l'intensification des systèmes de production devienne progressivement une réalité et qu'elle se fasse en mobilisant une part significative d'options écologiquement intensives et pas sur des solutions classiques d'intensification (intrants chimiques, mécanisation...) encore difficiles d'accès à bon nombre de petits producteurs de ces régions. Il faudra toutefois continuer à travailler avec les acteurs locaux à un accompagnement intense et efficient du processus d'innovation autour de ces alternatives.

Références


Andriarimalala J.H., Rakotozandriny J.N., Andriamandrosoa A.L.H., Penot E., Naudin K., Dugué P., Tillard E., Decruyenaere V., Salgado P., 2013. Creating synergies between conservation agriculture and cattle


production in crop-livestock farms: A study case in the Lake Alaotra Region of Madagascar. *Experimental Agriculture*, 49, 352-365, <https://doi.org/10.1017/S0014479713000112> .


Autfray P., Raharison T., Ripoché A., Audoin S., Salgado P., Rakotofiringa H., Moussa N., Randrianjafizanaka M.T., Rafenomanjato A., Rasambatra E., Rakotoarivelo M., 2018. Conception participative de systèmes de culture innovants dans le moyen-ouest du Vakinankaratra (MOV).

Breumier P., Ramarosandratana A., Ramanantsoanirina A., Vom Brocke K., Marquié C., Dabat M.H., Raboin L., 2018. Évaluation participative des impacts de la recherche sur le riz pluvial d'altitude à Madagascar de 1980 à 2015. *Cahiers agricultures*, 27, 15004, <https://doi.org/10.1051/cagri/2017065> .

Cavellier de Cuverville T., Wampfler B., Penot E., 2010. Analyse des pratiques de crédit dans la zone du projet BVPI-SEHP (Vakinankaratra et Moyen-Ouest), document de travail AFD/BVPI/SE-HP n° 27, CD-rom AFD/2011, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21149.36325> .

Corbeels M., de Graaff J., Ndah T.H., Penot E., Baudron F., Naudin K., Andrieu N., Chirat G., Schuler J., Nyagumbo I., Rusinamhodzi L., Traore K., Mzoba H.D., Adolwa I.S., 2014. Understanding the impact and adoption of conservation agriculture in Africa: A multi-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187, 155-170, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.011> .

de Charentenay J., Penot E., 2012. Évaluation socioéconomique de l'impact de l'adoption des techniques de semis sous couvert végétal sur le revenu des agriculteurs du moyen-ouest de Madagascar (région d'Ankazomiriotra), projet Rime-Pampa, document de travail AFD/BVPI/SE-HP n° 47, 2009, CD-rom AFD/2012, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12760.75521> .

Degenne P., Lo Seen D., 2016. Ocelet: Simulating processes of landscape changes using interaction graphs. *SoftwareX*, 5, 89-95, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2016.05.002> .

Dusserre J., Chopart J.-L., Douzet J.-M., Rakotoarisoa J., Scopel E., 2012. Upland rice production under conservation agriculture cropping systems in

cold conditions of tropical highlands. *Field Crops Research*, 138, 33-41, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.011> ☐.

Dusserre J., Raveloson H., Michellon R., Gozé E., Auzoux S., Sester M., 2017. Conservation agriculture cropping systems reduce blast disease in upland rice by affecting plant nitrogen nutrition. *Field Crops Research*, 204, 208-221, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.024> ☐.

Griffon M., 2013. *Qu'est-ce qu'une agriculture écologiquement intensive ?* Quæ, Versailles, 224 p.

Hartog M., Penot E., De Graff J., Raharison T., 2011. Implementation of conservation agriculture in the highlands of Vakinankaratra, Madagascar: Constraints and opportunities, document de travail, projet CA2AFRICA 2011, Antananarivo, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21988.22400> ☐.

Husson O. (ed.), Séguy L. (ed.), Charpentier H. (ed.), Rakotondramanana (ed.), Michellon P., Raharison T., Naudin K., Enjalric F., Moussa N., Razanamparany C., Rasolomanjaka J., Bouzinac S., Chabanne A., Boulakia S., Tivet F., Chabierski S., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Andrianasolo H.M., Chabaud F.X., Rakotondralambo T., Rakotondralambo P., Ramaroson I., 2013. *Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) : Application à Madagascar*, GSDM / Cirad, Antananarivo, Madagascar, 716 p.

Ou S.H., 1985. *Rice Diseases*, 2^e édit., Commonwealth Mycological Institute, Kew, Royaume-Uni, 380 p.

Pennisi E., 2010. Armed and dangerous. *Science*, 327, 804-805, <https://doi.org/10.1126/science.327.5967.804> ☐.

Penot E., Raboin L.-M., Tokarski Y., Rakotofiringa A., Bodoy A., Ahmim Richard A., Dabat M., Raharison T., Rakoto Harivony A., Razafimandimby S., 2016. Rôle et place du riz pluvial dans les exploitations du Vakinankaratra (Hauts Plateaux et Moyen-Ouest). In : *Processus d'innovation et résilience des exploitations agricoles à Madagascar* (E. Penot, ed.), L'Harmattan, Paris, 410.

Penot E., Sorèse J., Raharison T., 2011. Analyse de la situation des superficies en SCV dans le Moyen-Ouest avec l'opérateur Fafiala (projet BVPI-SE/HP), synthèse pour le projet Pampa, document de travail

AFD/BVPI/SE-HP n° 17, CD-rom AFD, 2012, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26182.52802> ☐.

Quiennec, M., Penot, E., Razafimahatratra Hanitriniaina, M., 2013. Caractérisation et typologie des exploitations agricoles du moyen-ouest du Vakinankaratra, Madagascar, document de travail UMR/Innovation/SPAD, 2013, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19471.64167> ☐.

Rabenandro T., Dupin B., Hyac P., 2009. *Guide synthétique d'agronomie et d'agro-écologie dans le contexte de la rive-ouest du lac Alaotra*, AVSF, 47 p.

Raboin L.-M., Ramanantsoanirina A., Dusserre J., Razasolofonahary F., Tharreau D., Lannou C., Sester M., 2012. Two-component cultivar mixtures reduce rice blast epidemics in an upland agrosystem. *Plant Pathology*, 61 (6), 1103-1111, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02602.x> ☐.

Raboin L.-M., Randriambololona T., Radanielina T., Ramanantsoanirina A., Ahmadi N., Dusserre J., 2014. Upland rice varieties for smallholder farming in the cold conditions in Madagascar's tropical highlands. *Field Crops Research*, 169, 11-20, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.006> ☐.

Raboin L., Dzido J., Ahmadi N., 2013. Création variétale pour la riziculture pluviale d'altitude à Madagascar: Bilan de 25 années de sélection. *Cahiers agricultures*, 22, 450-458, <https://doi.org/10.1684/agr.2013.0624> ☐.

Rakotoarisoa J., Oliver R., Dusserre J., Muller B., Douzet J.-M., Michellon R., Moussa N., Razafinjara L.A., Rajeriarison J., Scopel E., 2010. Bilan de l'azote minéral au cours du cycle du riz pluvial sous systèmes de couverture végétale en sol ferrallitique argileux à Madagascar. *Étude et gestion des sols*, 17, 169-186.

Ranaivoson L., Naudin K., Ripoche A., Affholder F., Rabeharisoa L., Corbeels M., 2017. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 26, <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0432-z> ☐.

Randrianarison N., Penot E., Poncet C., 2007. Suivi et analyse des succès

et des abandons des systèmes à base de semis direct sous couverture végétale (SCV) : Mise au point de la méthodologie, Cas du fokontany d'Antsapanimahazo – Madagascar, document de travail AFD/BVPI/SE-HP n° 33, CD-rom AFD, 2008, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32893.41448> ☐.

Randrianjafizanaka M.T., Autfray P., Andrianaivo A.P., Ramonta I.R., Rodenburg J., 2018. Combined effects of cover crops, mulch, zero-tillage and resistant varieties on *Striga asiatica* (L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment, under fina*.

Rasolofo L.I., 2017. Impact des innovations agro sur les flux de carbone et cultures pluviales : Cas des Hautes Terres de Madagascar, thèse de doctorat de l'université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar, 161 p.

Raveloson H., Rafenomanjato A., Ramanantsoanirina A., Sester M., Raboin L., 2016. Gestion de la diversité variétale du riz pluvial pour contrôler la pyriculariose. *In : Recherche interdisciplinaire pour le développement durable et la biodiversité des espaces ruraux malgaches : Application à différentes thématiques de territoire* (D. Hervé, R.-A. Tantely, R. Jacqueline, R. Bruno, eds), SCAC/Parrur, Éditions MYE, Antananarivo, Madagascar, 137-167.

Raveloson H., Ratsimiala Ramonta I., Tharreau D., Sester M., 2018. Long-term survival of blast pathogen in infected rice residues as major source of primary inoculum in high altitude upland ecology. *Plant Pathology*, 67 (3), 610-618, <https://doi.org/10.1111/ppa.12790> ☐.

Razafindramanana N.C., Marie J., Albrecht A., 2017. Effet des systèmes de culture en semis direct pour contrôler les pertes en carbone, azote et phosphore totaux par érosion hydrique sur les Hautes Terres de Madagascar. *Afrique Science*, 13, 341-353.

Salgado P., Rarivoarimanana B., Andriarimalala J., Nabeneza S., Tillard E., Decruyenaere V., Lecomte P., 2012. Pratiques paysannes et qualité fertilisante du fumier dans la région du Vakinankaratra et d'Amoron'i Mania, fiche technique.

Salgado P., Tillard E., Rarivoarimanana B., Decruyenaere V., Lecomte P., 2014. Management practices to conserve the fertilizer N value of dairy manure in Vakinankaratra region, Madagascar. *In : Agroecology for*

Africa, International Conference, Antananarivo, Madagascar.

Sester M., Raveloson H., Degenne P., 2016. Modelling the impacts of varietal diversity and cropping system on the propagation of rice blast at the landscape level: Model construction. *In* : Rice Blast Conference, Manille, Philippines.

Sester M., Raveloson H., Tharreau D., Dusserre J., 2014. Conservation agriculture cropping system to limit blast disease in upland rainfed rice. *Plant Pathology*, 63, 373-381, <https://doi.org/10.1111/ppa.12099> ☞.

Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.-F., Ferrer A., Peigné J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 1-20, <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7> ☞.

Zemek O., Frossard E., Scopel E., Oberson A., 2018. The contribution of *Stylosanthes guianensis* to the nitrogen cycle in a low input legume-rice rotation under conservation agriculture. *Plant and Soil*, 45 (1-2), 553-576, <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3602-0> ☞.

CHAPITRE 3

L'agroforesterie : des pratiques diversifiées pour la transition agro-écologique de la cacaoculture africaine

Patrick Jagoret, François Ruf, Christophe Du Castel, Jean-Michel Harmand, Sylvain Raffleau, Stéphane Saj, Didier Snoeck, Thomas Wibaux

Depuis les années 1960, la culture du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Afrique a connu un essor sans précédent. Le verger cacaoyer africain, qui couvrait 3,3 millions d'hectares en 1961, en représente aujourd'hui 6,5 millions. Dans le même temps, la production africaine de cacao est

passée de 865 000 tonnes (Braudeau, 1969) à 3 millions de tonnes (FAOStat, 2017), confirmant la place prépondérante du continent africain dans la cacaoculture mondiale, en particulier pour la Côte-d'Ivoire et le Ghana qui représentent à eux seuls 70 % de l'offre mondiale de cacao (Icco, 2017). Dans les prochaines années, il est de plus prévu une forte augmentation de la consommation de produits chocolatés en raison de l'accroissement du niveau de vie dans plusieurs pays émergents fortement peuplés (Inde, Chine et Brésil notamment). Cette tendance pourrait entraîner des tensions sur le marché mondial du cacao liées à un possible décalage entre l'offre et la demande de cette matière première agricole (Icco, 2017). Dès lors, il est vraisemblable que la dynamique observée depuis 50 ans, en particulier en Côte-d'Ivoire et au Ghana, s'étende à d'autres pays africains de la zone tropicale humide présentant des conditions pédoclimatiques propices à la cacaoculture, car l'agriculture familiale africaine a largement prouvé, ces dernières décennies, sa capacité à ajuster son offre à la demande.

Pour maintenir ou augmenter leur production, les agriculteurs ont surtout privilégié l'extension de leurs vergers cacaoyers grâce à des migrations répétées vers les zones forestières et au défrichement de celles-ci (Ruf, 1995). Nombreux sont ceux qui, dès les années 1970, rompant avec une cacaoculture sous ombrage forestier, ont en effet opté pour une cacaoculture sans ombrage. Les raisons en sont multiples, notamment techniques, mais aussi sociales et juridiques (Ruf, 2011). Or, ces systèmes de cacaoculture sans ombrage, s'ils ont permis un doublement du rendement moyen du verger cacaoyer africain de 250 kg/ha de cacao marchand dans les années 1960 à 500 kg dans les années 1990 (FAOStat, 2017), sont devenus extensifs en raison de la disparition des soutiens techniques et financiers liée à la libéralisation de la filière cacao. Enfin, la tendance globale de changement climatique pourrait engendrer en Afrique de l'Ouest une réduction des zones propices à la cacaoculture (Läderach *et al.*, 2013), et *in fine* une vulnérabilité accrue des exploitations agricoles dont le fonctionnement repose sur cette culture de rente.

Aujourd'hui, face aux limites agronomiques, sociales et écologiques de la cacaoculture sans ombrage et face aux défis auxquels elle est confrontée, une transition agro-écologique de la cacaoculture africaine s'avère donc incontournable, tant pour son propre devenir que celui des zones forestières. En Côte-d'Ivoire et au Ghana, les dernières zones forestières demeurent en effet menacées. Il est donc urgent de les protéger tout en

accompagnant les agriculteurs dans la stabilisation des zones de cacaoculture existantes et dans l'amélioration de leur niveau de vie. Dans les autres pays disposant encore de vastes réserves forestières et tentés de se lancer dans une dynamique cacaoyère pour diversifier leur économie et fournir un revenu aux populations rurales, il s'agit de limiter la déforestation et de réduire d'emblée l'impact négatif de la cacaoculture sur l'environnement. Ce chapitre analyse la pertinence de l'agroforesterie pour une transition agro-écologique de la cacaoculture africaine.

Un modèle technique sans ombrage remis en question

Bien que le cacaoyer soit considéré comme une plante qui a besoin d'ombre pour se développer, il a été démontré dans les années 1960 que sa productivité augmente lorsqu'il est totalement exposé à la lumière et qu'on lui apporte des nutriments tout en le protégeant contre les bioagresseurs (Braudeau, 1969). Le modèle technique proposé aux agriculteurs a donc misé sur l'augmentation des rendements par la culture sans ombrage et l'intensification en intrants et main-d'œuvre, en s'appuyant sur l'usage de variétés sélectionnées, vigoureuses, issues de semences hybrides. Ce modèle a également privilégié la conduite des cacaoyers en culture pure ou sous un ombrage léger et homogène, souvent reconstitué, avec un recours à des intrants synthétiques pour la protection phytosanitaire et la fertilisation (Wood et Lass, 2001). Dans le même temps, notamment au lendemain des indépendances des États, en raison des enjeux économiques qu'elle représentait, la cacaoculture a fait l'objet d'un interventionnisme d'autant plus accru que les cours mondiaux demeuraient élevés. L'encadrement des agriculteurs s'est traduit notamment par la mise à disposition de matériels de traitement et de produits phytosanitaires.

Tant en Côte-d'Ivoire qu'au Ghana, dès les années 1920 et 1930, des témoignages montrent que certains agriculteurs ont pratiqué la cacaoculture sans ombrage bien avant que la recherche ne la propose. En Côte-d'Ivoire, cependant, ce n'est que dans les années 1970 qu'elle a fortement augmenté, en lien avec les flux massifs d'agriculteurs migrants dont l'objectif principal était l'appropriation de la terre (Ruf, 1995). Ces derniers qui, au demeurant, ont adopté les hybrides de cacaoyers diffusés à grande échelle, n'ont pas eu intérêt à adopter une conduite intensive des vergers après leur mise en place, qui aurait exigé entretien et intrants. La

« rente forestière » (sols riches en matière organique et en nutriments hérités du couvert forestier éliminé), associée à une pluviométrie propice aux jeunes cacaoyers vigoureux, leur suffisait à atteindre des rendements de 500-700 kg/ha (Ruf, 1995), rendements que certains agriculteurs amélioreraient toutefois en adoptant progressivement les pesticides recommandés par la vulgarisation.

Pendant quelques années, ce modèle technique de cacaoculture sans ombrage s'est maintenu ainsi, le temps que les agriculteurs l'expérimentent. Mais on constate généralement, 20 à 30 ans après la création de la cacaoyère, voire beaucoup moins dans certains cas, que la productivité des cacaoyers s'effondre : faute d'une fertilisation minérale et d'une protection phytosanitaire suffisantes, les conditions de production se dégradent (Ahenkorah *et al.*, 1987 ; Hanak-Freud *et al.*, 2000). Certains agriculteurs tentent alors de réhabiliter leurs cacaoyères mais les difficultés techniques et le surcoût d'une telle opération, rédhibitoires, les poussent à les abandonner pour en créer de nouvelles ailleurs, sur de nouvelles défriches forestières. D'autres agriculteurs reconvertissent leurs cacaoyères en plantations d'hévéa ou de palmiers, espèces qui s'implantent plus facilement que le cacaoyer sur des sols dégradés (Ruf, 1995). En ne motivant pas la réhabilitation des cacaoyères dégradées, le modèle de cacaoculture sans ombrage apparaît donc peu durable et se révèle en réalité itinérant, bien que le cacaoyer soit une culture pérenne.

Les zones forestières ont ainsi pratiquement disparu en Côte-d'Ivoire et au Ghana : la surface forestière ivoirienne est passée de 13 à 3 millions d'hectares entre 1960 et 1990 (Hanak Freud *et al.*, 2000). La décennie 2000 a encore accéléré la disparition des dernières forêts classées et parcs nationaux ivoiriens (Higonnet *et al.*, 2017). Il en est de même au Ghana où l'on estime que 80 % des zones forestières ont disparu depuis l'introduction du cacaoyer dans ce pays (Cleaver, 1992).

Pour les producteurs de cacao, dont la surface des vergers cacaoyers varie entre 1 et 10 ha pour 95 % d'entre eux (Rafflegeau *et al.*, 2015), l'enjeu est donc de réinventer des modèles techniques de cacaoculture durables et performants sur le plan agronomique. L'objectif est de leur garantir des conditions de vie décentes dans un contexte incertain, tant sur le plan économique (fluctuation des cours mondiaux du cacao : entre 2 000 et 3 500 \$ US/t au cours de la dernière décennie, fortes taxations ou/et faible soutien de l'État) que sur le plan climatique (dérèglement des saisons,

hausse des températures et déplacement des zones propices à la cacaoculture), avec un minimum d'impacts environnementaux.

Parallèlement à cette histoire dominante de la cacaoculture, dans certaines régions, des agriculteurs pratiquent, malgré tout et depuis fort longtemps, une cacaoculture agroforestière ou évoluent vers des pratiques plus agroforestières.

Agroforesteries paysannes : des pratiques agro-écologiques déjà présentes

Une partie de la cacaoculture africaine repose en effet sur des systèmes mis au point et gérés par les agriculteurs où, contrairement au modèle sans ombrage, le cacaoyer est associé à d'autres espèces pérennes, forestières et fruitières, aux usages multiples. Ces systèmes se rencontrent dans la plupart des pays producteurs, qu'il s'agisse de la Côte-d'Ivoire, du Ghana, du Nigeria ou du Cameroun. Souvent qualifiés de traditionnels, ces systèmes agroforestiers sont d'une grande diversité et démontrent les capacités d'adaptation et d'innovation des agriculteurs. Des études conduites ces dernières années révèlent, y compris aux yeux des agriculteurs eux-mêmes, qu'ils présentent de multiples avantages. Cinq d'entre eux peuvent être évoqués.

Des productions multiples répondant aux attentes des producteurs de cacao

À la différence d'une cacaoyère conduite sans ombrage où ne sera donc récolté qu'un seul produit, le cacao, le premier avantage des systèmes agroforestiers, qu'ils soient simples (deux-trois composantes : associations cacaoyer-hévéa, cacaoyer-fruitiers ou cacaoyers-palmiers) ou plus complexes, est la diversification des productions. En Côte-d'Ivoire (Herzog et Bachman, 1992 ; Adou Yao *et al.*, 2016), au Ghana (Ruf et Deheuvels, 2006) et au Cameroun (Jagoret *et al.*, 2014a), nombreuses sont les espèces associées aux cacaoyers, telles que *Persea americana* (avocatier), *Elaeis guineensis* (palmier à huile), *Dacryodes edulis* (safoutier), *Cola nitida* (colatier) ou *Ricinodendron heudelotii* (njansang), qui fournissent un produit comestible : fruits, jeunes feuilles (préparation de sauce), graines (condiments, huile), sève (vin de palme). D'autres

espèces, principalement forestières, ont une valeur commerciale (*Terminalia superba* et *Milicia excelsa* par exemple pour la fourniture de bois d'œuvre) et/ou médicinale car certains de leurs organes (feuilles, écorce, racine, bois) sont utilisés pour soigner divers maux (*Cola cordifolia*, *Alstonia boonei*, *Rauvolfia vomitoria* par exemple). En plus du cacaoyer, ces différentes espèces fournissent des produits qui sont à la fois autoconsommés et vendus par les ménages ruraux, deux fonctions qui peuvent représenter, comme au Cameroun, jusqu'à 56 % de la valeur d'usage attribuée par les agriculteurs aux différentes espèces ligneuses présentes dans leurs cacaoyères (Jagoret *et al.*, 2014a).

En étant plus diversifiés que les cacaoyères sans ombrage, et en répartissant les espèces selon une structuration spatiale (en surface et en hauteur) qui limitent les compétitions interspécifiques, les systèmes agroforestiers cacaoyers sont économiquement moins hasardeux. En Côte-d'Ivoire, l'association d'hévéas dans les cacaoyères, encore embryonnaire dans les années 2010, pourrait permettre aux agriculteurs de limiter les risques dans un contexte instable de forte fluctuation des cours du cacao, tout en leur permettant de valoriser leurs terres et de rentabiliser les interventions culturales en attendant l'entrée en production des hévéas (Snoeck *et al.*, 2013). Jaza *et al.* (2015) ont estimé que l'introduction de trois espèces fruitières locales dans les cacaoyères du Centre Cameroun, à savoir le safoutier (*Dacryodes edulis*), le manguier sauvage (*Irvingia gabonensis*) et le njansang (*Ricinodendron heudelotii*), pouvait générer des revenus supplémentaires substantiels par rapport à la cacaoculture sans ombrage. Les différentes espèces associées aux cacaoyers peuvent également offrir des productions relais de soudure et un étalement des productions au cours de l'année. Ainsi, toujours au Centre Cameroun, les espèces d'arbres complantées avec les cacaoyers permettent aux agriculteurs de récolter de façon échelonnée différents fruits (avocats, mangues, noix de cola, safous, noix de palme pour la production d'huile), à des périodes où les cacaoyers ne produisent pas (fig. 3.1). Dans le même temps, les espèces forestières et le palmier à huile peuvent leur fournir en permanence du bois d'œuvre et du vin de palme, voire abriter à certaines périodes de l'année des chenilles consommées par les populations locales (photo 3.1).

Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janvier	Février
						Cacao					
			Safous								
	Mangues										
Avocats											
				Noix de cola							
			Mango								
Vin de palme											
								Huile de palme			
Bois d'œuvre											
					Chenilles						

Figure 3.1. Périodes de récolte de différents produits fournis par les systèmes agroforestiers cacaoyers du Centre Cameroun.



Photo 3.1. *Petersianthus macrocarpus* (Essia) est la plante hôte d'*Imbrasia ertli*, chenille consommée par les populations du Centre Cameroun. © Patrick Jagoret.

Une production de cacao plus élevée qu'il n'y paraît

Dans les systèmes agroforestiers cacaoyers, les rendements en cacao marchand sont souvent similaires, voire supérieurs à ceux obtenus dans les cacaoyères sans ombrage quand les agriculteurs peinent à appliquer les quantités importantes de pesticides et d'engrais chimiques requises (fig. 3.2, cercle vert), et ce, y compris dans les cacaoyères âgées ayant largement dépassé le seuil au-delà duquel la reconversion ou la réhabilitation sont souvent recommandées (fig. 3.2, cercle bleu). C'est notamment le cas au Centre Cameroun où l'essentiel du verger cacaoyer est constitué de systèmes agroforestiers complexes dont le rendement observé, estimé à partir de comptages de cabosses réalisés dans des dispositifs spécifiques, a varié de 596 kg/ha à plus de 2 t/ha selon les zones (Bisseleua *et al.*, 2009 ; Jagoret *et al.*, 2017a ; Saj *et al.*, 2017a). Ces rendements ont été observés dans les parcelles où, par hectare, 1 500 cacaoyers en moyenne sont cultivés avec 190 arbres fruitiers ou forestiers, démontrant ainsi qu'il est possible de cultiver le cacaoyer dans de tels systèmes tout en obtenant des niveaux de rendements supérieurs à ce qui est communément admis. Saj *et al.* (2017a) ont, de plus, constaté que le rendement de ces systèmes complexes dépendait de la concurrence avec les arbres associés, mais en revanche, au-dessous d'un certain niveau de présence de ces arbres, la production à long terme, c'est-à-dire au-delà de 40 ans, ne semblait plus assurée. Une densité suffisante d'arbres d'ombrage est ainsi nécessaire pour maintenir dans la durée les performances des systèmes agroforestiers cacaoyers.

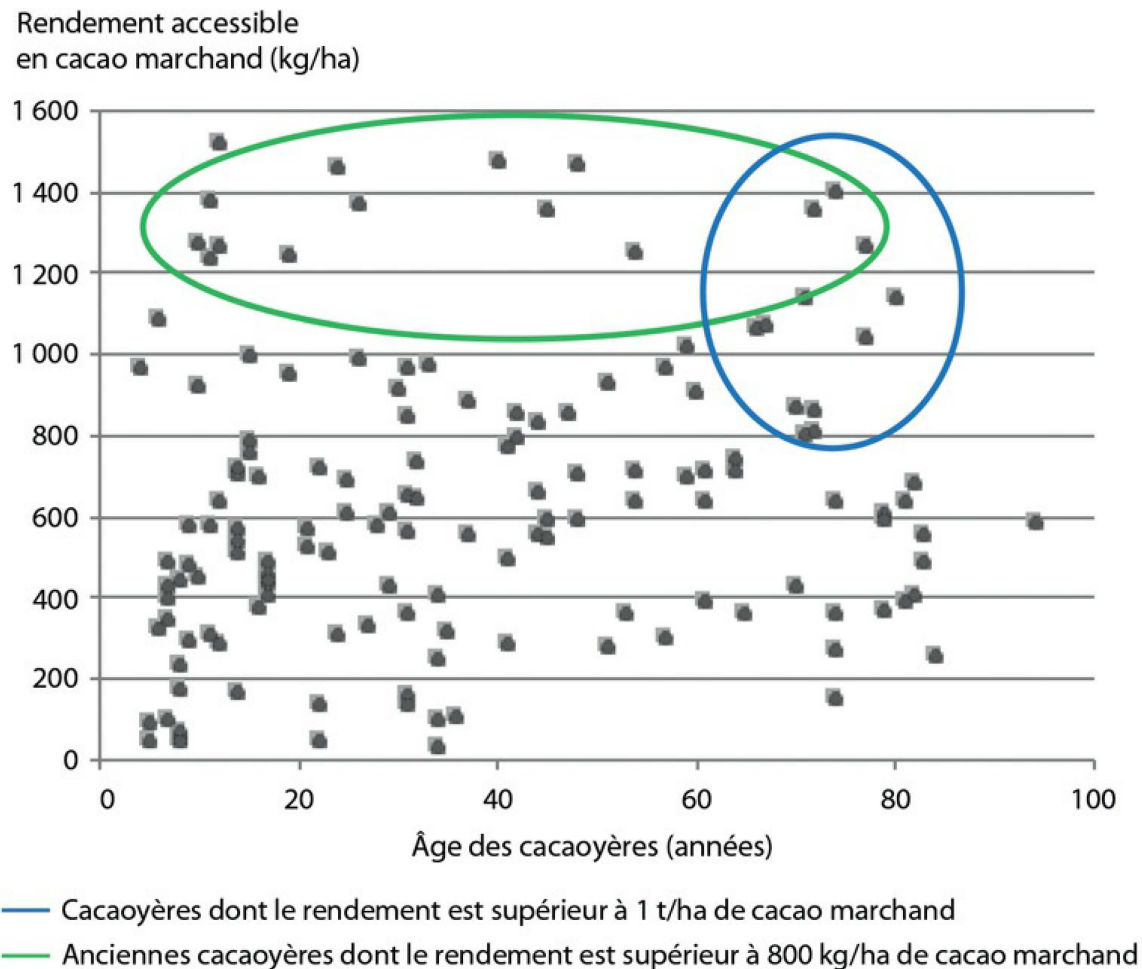


Figure 3.2. Rendement en cacao marchand observé dans 144 cacaoyères agroforestières du Centre Cameroun (zones de Ngomedzap, Bokito et Zima).

Une conduite technique sans recours aux engrais de synthèse

Les rendements en cacao des cacaoyères agroforestières complexes peuvent se maintenir à des niveaux satisfaisants sans apport de fertilisants (Jagoret *et al.*, 2011). Au Centre Cameroun, la teneur en matière organique du sol sous cacaoyers est de l'ordre de 4,1 à 4,7 % (Duguma *et al.*, 2001) alors que le niveau requis pour une bonne croissance du cacaoyer est de 3,5 % (Braudeau, 1969). Snoeck *et al.* (2010) ont montré que la gestion des arbres dans les cacaoyères permet aux agriculteurs de corriger l'effet dépressif dû à la mise en place des cacaoyers sur défriche forestière, et de retrouver après 25 ans un taux de matière organique sous cacaoyers similaire à celui du sol forestier initial. En l'absence de fertilisation, les

arbres jouent donc un rôle important dans la restauration de la fertilité du sol en participant au recyclage de la matière organique et des éléments minéraux, ce qui améliore aussi la capacité d'échange cationique du sol. Toujours au Centre Cameroun, l'intérêt des pratiques agroforestières pour maintenir, voire restaurer la fertilité du sol, a également été observé par Jagoret *et al.* (2012) dans les cacaoyères agroforestières installées sur précédent savane où le taux de matière organique du sol augmente significativement avec l'âge, passant de 1,7 % dans les jeunes cacaoyères à 3,1 % dans celles de plus 40 ans. Sur le long terme, sur le plan de la fertilité, le type d'arbre associé apparaît d'ailleurs aussi important que l'origine pédologique du sol (Snoeck et Dubos, 2018). Le cacaoyer étant en effet, contrairement aux autres arbres fruitiers, un arbre dont la fructification est indépendante de la croissance végétative, ses besoins en azote sont faibles car celui-ci contribue davantage à sa croissance végétative qu'à sa productivité. Par conséquent, pour augmenter la production, il est préférable de limiter la croissance végétative (donc moins d'azote) et de favoriser la floraison (donc plus de phosphore) (Snoeck *et al.*, 2016). L'association avec des légumineuses suffit ainsi souvent à couvrir les besoins en azote des cacaoyers (Nygren *et al.*, 2009).

Dans les systèmes agroforestiers cacaoyers, l'activité biologique favorise à la fois l'infiltration de l'eau, l'incorporation de matière organique au sol, et le stockage et la libération d'éléments minéraux en surface. De plus, la couche permanente de litière assure une protection du sol contre le ruissellement et l'érosion. Rousseau *et al.* (2012) ont ainsi montré que la richesse de la macrofaune des sols sous cacaoyers n'est pas significativement différente de celle de la forêt voisine et s'avère supérieure à celle de la savane voisine ou des sols cultivés. Ce résultat confirme les observations faites au Cameroun sur l'activité microbienne des sols sous cacaoyers jeunes, adultes, sous forêt et sous savane (Snoeck *et al.*, 2010). Au Ghana, des effets favorables des arbres d'ombrage sur la fertilité du sol et le statut nutritionnel des cacaoyers (augmentation de la capacité d'échange cationique et du taux d'azote) ont également été démontrés (Isaac *et al.*, 2007 ; Blaser *et al.*, 2017).

Des niveaux de stockage de carbone plus élevés qu'en cacaoculture sans ombrage

Plus le système agroforestier cacaoyer est diversifié et complexe, plus il

semble pouvoir stocker de carbone, grâce en particulier aux arbres forestiers associés aux cacaoyers. Dans les systèmes agroforestiers du Centre Cameroun par exemple, le stock de carbone aérien des cacaoyers adultes âgés de plus de 15 ans représente en moyenne entre 5 et 10 t/ha (Saj *et al.*, 2013). Dans les systèmes les plus complexes, les cacaoyers représentent ainsi moins de 10 % du stock de la biomasse arborée totale des systèmes où ils sont cultivés alors que ce stock peut parfois atteindre 20 % dans des systèmes agroforestiers simplifiés. Comparé aux systèmes forestiers voisins, le niveau de stockage de carbone aérien des systèmes agroforestiers cacaoyers reste cependant inférieur de 20 à 50 %. Il peut cependant atteindre jusqu'à 180 t/ha dans certaines zones (Saj *et al.*, 2013 et 2017b). Toujours au Cameroun, dans les systèmes agroforestiers cacaoyers mis en place en savane, il a été montré que le stock de carbone aérien pouvait atteindre, après 60 ans, celui des systèmes agroforestiers cacaoyers créés après forêt (Nijmeijer *et al.*, 2018).

En ce qui concerne le carbone du sol, il semblerait que les systèmes agroforestiers cacaoyers soient capables de maintenir ou de rétablir un niveau de matière organique et donc de carbone comparable aux forêts (Snoeck *et al.*, 2010 ; Nijmeijer *et al.*, 2018). Au Ghana, dans les cacaoyères mises en place après une défriche forestière, il a été rapporté des baisses importantes de teneurs en carbone du sol de surface (- 49 %), sans différences significatives entre les taux de couverture arborée à l'échelle de la parcelle. Néanmoins, des effets positifs localisés des arbres d'ombrage sur le carbone du sol (+ 20 %) ont été trouvés par rapport aux zones hors couvert (Blaser *et al.*, 2017). Au Cameroun, dans les systèmes agroforestiers cacaoyers mis en place en savane, il a été estimé que la teneur en carbone du sol de surface avait augmenté de 6,5 à 9,5 % par an pendant plus de 60 ans (Nijmeijer *et al.*, 2018).

Des systèmes de cacaoculture flexibles et résilients

Pour les agriculteurs qui font face à la volatilité des cours mondiaux du cacao et aux variations climatiques de plus en plus accentuées, les systèmes agroforestiers offrent une souplesse et une flexibilité importantes de conduite que n'ont pas les cacaoyères sans ombrage. Un argument commun en faveur de la cacaoculture sans ombrage est en effet qu'il serait plus rentable pour un agriculteur de gérer une cacaoyère monospécifique dans une exploitation diversifiée, car un tel choix lui permettrait de cibler

les cultures pour lesquelles un investissement en intrants et en travail serait rentable. Or, compte tenu des délais entre la réalisation des opérations techniques et leurs effets sur les composantes du rendement du cacaoyer, les agriculteurs ont connaissance du prix d'achat de leur cacao trop tard pour être dans cette logique théorique, car ils ont déjà investi en intrants et en travail dans leurs parcelles et dans le traitement post-récolte du cacao avant de savoir quelle sera leur rémunération exacte, souvent calculée à partir des cours mondiaux très fluctuants. Lorsque ces derniers sont bas, les cacaoyères agroforestières permettent au contraire, et dans tous les cas, de réduire les risques, en assurant une rémunération du travail et de la terre par les autres productions qui en sont issues, apportant, comme cela a été précédemment évoqué, davantage de sécurité alimentaire pour les ménages agricoles par les revenus et les productions autoconsommées.

Au Cameroun, la reconstitution *a posteriori* de trajectoires de conduite d'anciennes cacaoyères agroforestières a ainsi montré que leur gestion technique peut être momentanément interrompue, ou modifiée, sans détruire le système (Jagoret *et al.*, 2014b), permettant d'accuser des chocs en revenant à la situation initiale après une phase de semi-abandon (fig. 3.3) ou de transformer les cacaoyères pour initier un projet productif différent, en réduisant drastiquement par exemple la densité des cacaoyers. En cas d'abandon suite à la chute des cours ou de conflits familiaux lors, par exemple, de la transmission du patrimoine cacaoyer, la présence d'arbres dans les cacaoyères permet de ralentir la dégradation des peuplements cacaoyers. Leur remise en état sera plus rapide que dans le cas des cacaoyères sans ombrage dégradées envahies par les adventices. La biomasse issue de la croissance des arbres va permettre également un abattage/replantation favorable, par reconstitution d'une « rente forêt ».

Ces différents exemples confirment que les systèmes agroforestiers cacaoyers peuvent ainsi constituer une source d'inspiration pour les chercheurs travaillant sur une transition agro-écologique de la cacaoculture africaine.

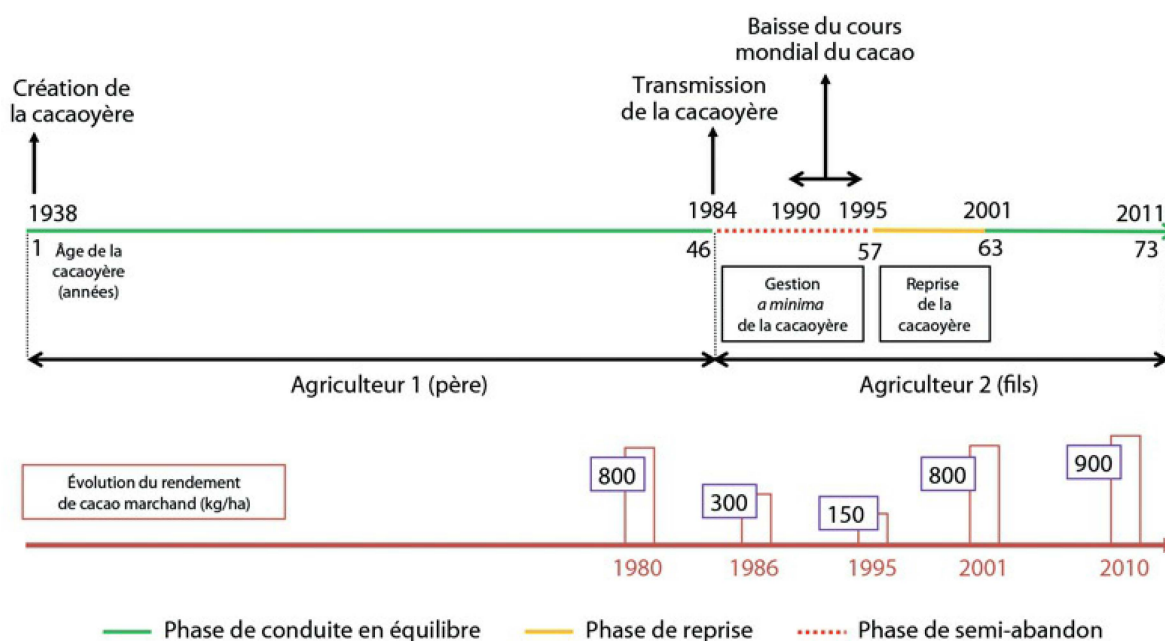


Figure 3.3. Exemple de la résilience d’une cacaoyère agroforestière au Centre Cameroun : la reprise par l’agriculteur de sa cacaoyère, après une phase de gestion *a minima* de onze ans, lui a permis de la restaurer et de retrouver un niveau de production équivalent (Jagoret *et al.*, 2014b).

Modalités d’accompagnement des agriculteurs

En Côte-d’Ivoire, la tendance agroforestière s’affirme de plus en plus ces dernières années. Initialement peu visibles, les palmiers spontanés et les arbres fruitiers plantés dans les cacaoyères sans ombrage finissent par émerger de la strate cacaoyère. Le processus agroforestier est alors associé à un vieillissement naturel des cacaoyères (Schroth et Ruf, 2014). Les agriculteurs sont aussi de plus en plus nombreux à adopter des pratiques agroforestières innovantes pour réintroduire des arbres dans leurs cacaoyères sans ombrage. Ainsi, Sanial (2015) a montré que 30 % d’entre eux plantent *Ficus facensis* (*aloma* en baoulé) pour son ombrage adapté aux cacaoyers et son rôle dans le maintien de la fertilité du sol, à l’instar de ce qui est observé au Centre Cameroun où nombreux sont les agriculteurs à conserver *Ficus mucoso* et *Ceiba pentendra* (fromager) pour cette même fonction (Jagoret *et al.*, 2014a).

Par ailleurs, sous la pression des lobbies environnementaux et de la prise de conscience internationale autour de la déforestation et du changement

climatique, les discours officiels du secteur public et privé ont nettement évolué en faveur du « zéro-déforestation » et de l'agroforesterie, sans que cette dernière soit pour autant toujours bien comprise et bien définie. Au-delà des discours, quelles initiatives publiques et privées semblent de nature à favoriser l'adoption de pratiques agroforestières ? En Côte-d'Ivoire et au Ghana, les modifications récentes des codes forestiers permettent de considérer la propriété de l'arbre en faveur des producteurs de cacao et apportent théoriquement une condition nécessaire à la réussite de cacaoyères agroforestières et donc favorable à leur expansion. D'autres initiatives visant à favoriser l'adoption de pratiques agroforestières peuvent être citées.

Les grands programmes de certification du cacao

Ces programmes sont généralement basés sur le concept de développement durable et concilient des normes environnementales, éthiques, et l'adoption de pratiques agricoles supposées augmenter le rendement en cacao des cacaoyères (Lemeilleur *et al.*, 2015). Leur objectif est de garantir le respect d'un certain nombre d'engagements pris par un vendeur afin de guider le choix d'un acheteur, que celui-ci soit le consommateur final ou un maillon de la chaîne d'approvisionnement. La certification atteste ainsi de pratiques et du respect de ces engagements par une entreprise ou un agriculteur, qui en tire un bénéfice lors de la vente de son produit, sous la forme d'une surprime par exemple. L'efficacité de la certification repose cependant sur une demande en produits certifiés et des surcoûts induits suffisamment incitatifs pour motiver l'agriculteur à s'engager dans cette démarche. Elle suppose également que des principes et des indicateurs permettent d'attester du respect des engagements pris et que le système de certification soit contrôlé par un tiers indépendant.

Par construction, la certification s'appuie sur une stratégie de différenciation des produits qui doit faire l'objet d'un engagement volontaire de l'ensemble des acteurs de la filière. Ces engagements peuvent être motivés par une réglementation contraignante ou par l'existence d'un rapport de forces entre consommateurs et fournisseurs. Le cacao fait ainsi l'objet de plusieurs systèmes de certification (UTZ, RASAN, Bio et Fairtrade, RainForest Alliance) représentant environ 30 % de la production mondiale, et ce processus tend à évoluer, le cacao certifié devenant la norme dans les années futures, la plupart des importateurs

s'étant engagés à n'acheter que du cacao certifié à l'horizon de 2020. La standardisation est donc inéluctable. Mais on constate encore, dans toutes les filières qui s'engagent dans cette voie (cacao compris), que seule une partie de la production certifiée est vendue comme telle avec un prix premium, le reste étant vendu au même prix que le cacao non certifié, traduisant ainsi une incohérence entre la manière de consommer et les revendications environnementalistes.

Les systèmes de certification présentent en effet un certain nombre de limites. La mise en place d'un tel dispositif suppose que le marché existe et que le consommateur est prêt à payer le différentiel de prix. Ces deux préalables sont envisageables pour des marchés de niche mais plus improbables pour les marchés génériques. La fiabilité du système repose sur un dispositif de contrôle qui, certes, est souvent pris en charge par les organisations de producteurs, mais dont le coût demeure élevé malgré la surprime (entre 70 et 100 francs CFA / kg de cacao par exemple) offerte aux agriculteurs, prime qui compense difficilement les coûts induits par la mise aux standards environnementaux et sociaux. Le système de certification doit également être en mesure de fournir au consommateur une information claire et précise afin qu'il puisse faire un choix responsable et garder sa confiance. Cela suppose que le consommateur ait l'assurance que le cahier des charges des standards de certification est pertinent et que les produits sur le marché respectent ces critères. Le dispositif de contrôle doit donc être de qualité et, si nécessaire, susceptible d'être remis en cause rapidement.

Enfin, la certification d'un produit nécessite celle de l'ensemble de sa chaîne d'approvisionnement, ce qui implique une concertation préalable des acteurs impliqués dans le processus de production. Ainsi, bien que les systèmes de certification des grandes ONG internationales affichent une ambition environnementale, ils n'ont cependant, en Côte-d'Ivoire par exemple, pas dissuadé les producteurs de cacao d'infiltrer massivement les forêts classées et les parcs nationaux, ce cacao issu des forêts classées étant reconverti en cacao certifié (Higonnet *et al.*, 2017). On retrouve également des cacaoyères certifiées dans les forêts classées, ce qui ne peut que questionner la valeur de la certification qui n'est manifestement pas parfaite actuellement et dans le cas présent (Ruf et Varlet, 2017). Les programmes de réintroduction d'espèces forestières dans les cacaoyères sans ombrage, *via* les coopératives certifiées, ont quant à eux, un impact limité, en raison principalement de la faible implication des agriculteurs

dans ces programmes et du choix des espèces à réintroduire effectué sans concertation avec eux. Certaines ONG et agences bilatérales adoptent cependant des approches participatives plus respectueuses des souhaits et des initiatives des producteurs de cacao.

Le programme REDD+

Dans les pays tropicaux, 20 % des émissions de gaz à effets de serre sont liées à la déforestation et à la dégradation forestière (Kurdej, 2015). En installant les vergers cacaoyers sur les territoires forestiers, l'essor de la cacaoculture apparaît ainsi comme un facteur de déforestation, contribuant de façon significative aux émissions de gaz à effet de serre. Inversement, elle peut aussi être une alternative aux systèmes de culture traditionnels sur brûlis, contribuant à la réduction de ces mêmes émissions de gaz à effet de serre, sous réserve que soient remplies un certain nombre de conditions préalables. L'installation de cacaoyères dans des zones disposant de faibles stocks de carbone, comme les savanes et les jachères, doit être privilégiée à la mise en place de cacaoyères après défriche forestière, tout comme le maintien d'une couverture forestière permanente, ou sa restauration *via* l'adoption de pratiques agroforestières. Ce faisant, il est possible d'en attendre, outre les éventuelles primes liées à la certification, une valorisation spécifique liée à l'impact de cette production sur les niveaux d'émission de gaz à effets de serre et sa capacité à contribuer à la réduction de celles-ci. Les paiements pour services environnementaux peuvent ainsi contribuer au programme REDD+ (Karsenty, 2015). Une telle démarche est actuellement en cours d'expérimentation au Nord Congo dans le cadre du programme REDD+ qui s'y met en place. En 2011, la Côte-d'Ivoire a également initié une démarche REDD+ débouchant sur la validation de sa stratégie nationale de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cette stratégie comprend, entre autres, des mesures visant à promouvoir la production durable de cacao.

En Côte-d'Ivoire, on peut également faire l'hypothèse que la transition vers des cacaoyères agroforestières pourrait reposer sur la production des produits forestiers non ligneux évoqués précédemment ou sur une meilleure répartition de la valeur du bois des espèces forestières introduites dans les cacaoyères sans ombrage. Ce dernier point demande cependant de clarifier le partage des revenus issus de la vente du bois entre métayers et propriétaires fonciers car la plantation d'arbres forestiers à large échelle ne

se fera que si elle très attractive pour les agriculteurs. Cela suppose de passer de la démarche d'exploitation minière de la ressource « naturelle » que pratiquent certains exploitants forestiers à une rémunération juste de la ressource créée par des producteurs de cacao. Jusqu'à très récemment, ces derniers étaient en effet exclus de ce partage de la valeur du bois : un facteur majeur de non-adoption de techniques agroforestières. Bien que la loi ait changé, elle mettra du temps avant d'être connue et on peut se demander si ce changement de cadre législatif facilitera une dynamique de réintroduction d'arbres dans les cacaoyères.

Le renouvellement des schémas de développement

Il est nécessaire de proposer aux agriculteurs de nouveaux itinéraires techniques, adaptés à la situation actuelle de rareté des terres et leur offrant de meilleures performances agronomiques en particulier en termes de production de cacao. Il s'agit aussi de promouvoir des systèmes de cacaoculture durables, compatibles avec les exigences de protection de l'environnement, de conservation de la biodiversité et de développement économique et social.

En Côte-d'Ivoire, le projet « Cacao, ami des forêts », mis en œuvre dans la région de Bianouan, est une déclinaison opérationnelle de cette stratégie. Il se concentre, d'une part, sur la promotion de nouveaux itinéraires techniques en matière d'intensification, dans l'objectif de faire passer les rendements des cacaoyères de 350 kg de cacao marchand à une tonne par hectare ; d'autre part, sur des approches d'agroforesterie comme techniques de préservation de l'environnement (maintien d'une biodiversité, protection des ressources en eau, protection des sols, prévention de la pollution par les pesticides et fertilisants) ; et enfin, sur la traçabilité du cacao du producteur jusqu'au transformateur, à travers un dispositif fiable permettant de garantir que le cacao livré par les coopératives provient bien d'exploitations cacaoyères respectant les critères de durabilité.

Les avantages de l'agroforesterie sont donc multiples, environnementaux, mais aussi économiques et sociaux. Les producteurs de cacao sont amenés à choisir, voire à construire, le système agroforestier qui offre le meilleur compromis pour atteindre leurs objectifs. Si le choix de l'agriculteur est la forme d'agroforesterie la plus simple — l'association de deux cultures

pérennes, comme l'association cacaoyer-hévéa en Côte-d'Ivoire — l'avantage est d'abord une certaine sécurité économique. Si ce choix s'oriente au contraire vers des formations végétales plus complexes, comme au Cameroun, c'est en général pour répondre autant à des objectifs économiques qu'à des contraintes environnementales, voire sociales, comme la constitution et la transmission d'un patrimoine cacaoyer en bon état à ses héritiers.

Cette diversité de situations cacaoyères pose un défi de formation des agents de vulgarisation agricole qui interviennent en appui aux agriculteurs. Ces agents ne doivent plus en effet diffuser un message technique unique, qu'il s'agisse du modèle de cacaoculture sans ombrage ou d'une nouvelle « norme » agroforestière, mais ils doivent au contraire considérer les situations d'exploitation et de parcelles pour chercher des solutions techniques diverses et adaptées.

De fait, les agronomes et les agents de vulgarisation agricole ont beaucoup à apprendre et à échanger avec les producteurs de cacao pour relever plusieurs défis. La conversion progressive d'une cacaoyère sans ombrage ou d'une jachère en une cacaoyère agroforestière simple ou complexe est un premier défi. Le second défi porte sur la concrétisation des services attendus par les agriculteurs dans le choix des espèces à associer aux cacaoyers afin de limiter les compétitions pour l'eau, la lumière et les nutriments, ces choix variant largement selon les régions et les communautés (Jagoret *et al.*, 2014a ; Sanial, 2015). Le défi de la gestion technique des systèmes agroforestiers cacaoyers est plus prégnant dans les systèmes les plus complexes, nécessairement plus difficiles à conduire et à gérer que les systèmes simplifiés (Jagoret *et al.*, 2017b). L'identification et la diffusion d'un matériel végétal cacaoyer adapté aux pratiques agroforestières demeure également un défi technique majeur. Enfin, le défi socio-technique de la gestion des compromis entre services écosystémiques, dans les systèmes agroforestiers complexes, demande de caractériser les services rendus par les différentes espèces associées aux cacaoyers.

La contribution de projets agroforestiers à une transition agro-écologique de la cacaoculture sans ombrage vers l'agroforesterie impliquera de surmonter ces difficultés et entraînera probablement des coûts élevés. Les politiques publiques n'en n'auront guère les moyens et un partenariat public-privé s'avère incontournable pour répondre à ces défis de la

transition vers une cacaoculture africaine majoritairement agroforestière et plus durable.

Conclusion

Au cours du xx^e siècle, l'agriculture familiale a fait de l'Afrique le plus grand producteur mondial de cacao, avec en corollaire une déforestation massive dans certains pays et une faible durabilité du modèle de cacaoculture sans ombrage. Une véritable transition agro-écologique de la cacaoculture africaine basée sur l'agroforesterie doit donc se démarquer des expériences d'introduction dans les cacaoyères d'espèces imposées et mal acceptées pour relever un double défi. D'une part, dans les cacaoyères existantes, il s'agit de réduire la dépendance aux intrants chimiques coûteux et de reconstruire une biodiversité utile à l'échelle de la parcelle et du terroir. D'autre part, pour la création de nouvelles cacaoyères, il s'agit de mettre au point des itinéraires techniques qui privilégient la conservation d'espèces forestières pour limiter la déforestation, ou d'implanter des cacaoyères agroforestières sur des jachères ou des savanes, tout en visant un cycle de vie économique le plus long possible, renouvelable et nécessitant peu de capital.

Les exemples présentés ici portent surtout sur des systèmes agroforestiers complexes mis en place et gérés par certains agriculteurs africains, et très majoritairement dans des exploitations familiales. Ces systèmes leur ont assuré des rendements stables dans le temps, parvenant même à rattraper des situations de faibles fertilités dues aux teneurs basses en matière organique dans des sols de savane, tout en facilitant le contrôle des bioagresseurs et en réduisant les besoins d'intrants chimiques. Ces systèmes apparaissent ainsi aux yeux des agriculteurs plus durables, flexibles et résilients pour de multiples raisons. Les systèmes agroforestiers plus simples, associant seulement deux ou trois espèces, mais où une strate forestière est présente au-dessus des cacaoyers, ont été moins étudiés ici, mais leur adoption suggère que de tels systèmes apportent également des solutions aux problèmes générés par les systèmes sans ombrage. Ces systèmes agroforestiers simples sont en général préférés par les investisseurs locaux, urbains et ruraux, disposant généralement de plus de capitaux qu'en agriculture familiale.

Quels que soient les systèmes agroforestiers, repenser les schémas de

développement implique par ailleurs la mobilisation de tous les acteurs de la filière pour qu'une transition agro-écologique de la cacaoculture africaine basée sur l'agroforesterie puisse prendre de l'ampleur dans les années futures.

Références

Adou Yao C.Y., Kpangui K.B., Vroh B.T., Ouattara D., 2016. Pratiques culturelles, valeurs d'usage et perception des paysans des espèces compagnes du cacaoyer dans des agroforêts traditionnelles au centre de la Côte-d'Ivoire. *Revue d'ethnoécologie*, 9, mis en ligne le 1^{er} juillet 2016.

Ahenkorah Y., Halm B.J., Appiah G.S., Yirenkyi J.E.K., 1987. Twenty years results from a shade and fertilizer trial on amazon cocoa (*Theobroma cacao*) in Ghana. *Experimental Agriculture*, 23, 31-39.

Bisseleua D.H., Missoup A.D., Vidal B.S., 2009. Bioversity conservation, ecosystem functioning, and economic incentives under cocoa agroforestry intensification. *Conservation Biology*, 23 (5), 1176-1184.

Blaser W.J., Oppong J., Yeboah E., Six J., 2017. Shade trees have limited benefits for soil fertility in cocoa agroforests. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 243, 83-91.

Braudeau J., 1969. *Le Cacaoyer*, Paris, Maisonneuve et Larose, 304 p.

Cleaver K., 1992. Deforestation in the western and central African rainforest: The agricultural and demographic causes, and some solutions. *In : Conservation of West and Central African Rainforests* (K. Cleaver, M. Munasinghe, M. Dyson, N. Egli, A. Penker, F. Wencelius, eds), The World Bank / International Union for the Conservation of Nature, Washington, États-Unis, 34-54.

Duguma B., Gockowski J., Bakala J., 2001. Smallholder cacao (*Theobroma cacao* Linn.) cultivation in agroforestry systems of West and Central Africa: Challenges and opportunities. *Agroforestry Systems*, 51, 177-188.

FAOStat, 2017. Site Internet <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> 
(consulté le 12/01/2018).

Hanak Freud E., Petithuguenin P., Richard J., 2000. *Les Champs du cacao. Un défi de compétitivité Afrique-Asie*, Paris, Karthala, 210 p.

Herzog F.M., Bachmann M., 1992, Les arbres d'ombrage et leurs utilisations dans les plantations de caféiers et de cacaoyers dans le sud du V-baoulé, Côte-d'Ivoire. *Journal forestier suisse*, 143 (2), 149-163.

Higonnet E., Bellantonio M., Hurowitz G., 2017. *Chocolate's Dark Secret: How the cocoa industry destroys national parks*, Washington, Mighty Earth, 24 p.

Icco, 2017. Annual Report 2014/2015, Icco, Abidjan, Côte-d'Ivoire.

Isaac M.E., Timmer V.R., Quashie-Sam S.J., 2007. Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: Biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 78 (2), 155-165.

Jagoret P., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2011. Long-term dynamics of cocoa agroforests: A case study in central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 81, 267-278.


Jagoret P., Michel-Dounias I., Snoeck D., Todem Ngnogue H., Malézieux E., 2012. Afforestation of savannah with cocoa agroforestry systems: A small-farmer innovation in central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 86, 493-504.

Jagoret P., Kwesseu J., Messie C., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2014a. Farmers' assessment of the use value of agrobiodiversity in complex cocoa agroforestry systems in central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 88, 983-1000.

Jagoret P., Deheuvels O., Bastide P., 2014b. Production durable de cacao : S'inspirer de l'agroforesterie. *Perspectives*, 27, Montpellier, Cirad.

Jagoret P., Michel I., Todem Ngnogue H., Lachenaud P., Snoeck D., Malézieux E., 2017a. Structural characteristics determine productivity in complex cocoa agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 60.

Jagoret P., Snoeck D., Bouambi E., Todem Ngnogue H., Nyassé S., Saj S.,

2017b. Rehabilitation practices that shape cocoa agroforestry systems in Central Cameroon: Key management strategies for long-term exploitation. *Agroforestry System* (en ligne), <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0055-4> .


Jaza Folefack A.J., Eboutou L.Y., Degrande A., Fouda Moulende T., Kamajou F., Bauer S., 2015. Benefits from tree species' diversification in cocoa agroforests in the Centre region of Cameroon. *Russian Journal of Agricultural and Socio Economic Sciences*, 11 (47), 3-13.

Karsenty A., 2015. Mettre les PSE au service de l'agriculture « zéro déforestation ». *Perspectives*, 36, Montpellier, Cirad.

Kurdej M., 2015. *Bilan des émissions de gaz à effet de serre d'Allianz France*, Paris, EcoAct, 64 p.

Läderach P.A., Martinez-Valle A., Schroth G., Castro N., 2013. Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte-d'Ivoire. *Climatic Change*, 119, 841-854.

Lemelleur S., N'Dao Y., Ruf F., 2015. The productivist rationality behind a sustainable certification process: Evidence from the Rainforest alliance in the Ivorian cocoa sector. *International Journal of Sustainable Development*, 18 (4), 310-328.

Nijmeijer A., Lauri P.-É., Harmand J.-M., Saj S., 2018. Carbon dynamics in cocoa agroforestry systems in Central Cameroon: Afforestation of savannah as a sequestration opportunity. *Agroforestry Systems* (en ligne), <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0182-6> .

Nygren P., Leblanc H.A., 2009. Natural abundance of ¹⁵N in two cacao plantations with legume and non-legume shade trees. *Agroforestry Systems*, 76, 303-315.

Rafflegeau S., Losch B., Daviron B., Bastide P., Charmetant P., Lescot T., Prades A., Sainte-Beuve J., 2015. Contributing to production and to international markets. In : *Family Farming and the Worlds to Come* (J.M. Sourisseau, ed.), Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 129-144.

Rousseau G.X., Deheuvels O., Rodriguez Arias I., Somarriba E., 2012.

Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. *Ecological Indicators*, 23, 535-543.

Ruf F., 1995. *Booms et crises du cacao : Les vertiges de l'or brun*, Paris, Karthala, 464 p.

Ruf F., 2011. The myth of complex cocoa agroforests: The case of Ghana. *Human Ecology*, 39, 373-388.

Ruf F., Dehevels, O., Ake Assi, D. Sarpong. 2006. Intensification in cocoa cropping systems: Is agroforestry a solution for sustainability? The Case of Manso Amenfi, Western region, Ghana. In : *15th International Conference on Cocoa Research*, vol. 1, Cocoa Producers' Alliance, Lagos, 355-364.

Ruf F., Varlet F., 2017. The myth of zero-deforestation cocoa in Côte-d'Ivoire. *ETFRN News*, 58, 86-92.

Saj S., Durot C., Mvondo Sakouma K., Tayo Gamo K., Avana-Tientcheu M.L., 2017b. Contribution of associated trees to long-term species conservation, carbon storage and sustainability: A functional analysis of tree communities in cacao plantations of Central Cameroon. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15, 282-302.

Saj S., Jagoret P., Etoa L.E., Eteckji Fonkeng E., Tarla J.N., Essobo Nieboukaho J.-D., Mvondo Sakouma K., 2017a. Lessons learned from the long-term analysis of cacao yield and stand structure in central Cameroonian agroforestry systems. *Agricultural Systems*, 156, 95-104.


Saj S., Jagoret P., Todem H., 2013. Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 87, 1309-1320.

Sanial E. 2015. À la recherche de l'ombre : analyse du retour des arbres associés dans les plantations de cacao ivoiriennes. Mémoire de Master 2 géographie, Université Jean Moulin, Lyon 3, 211 p.

Schroth G., Ruf F., 2014. Farmer strategies for tree crop diversification in the humid tropics: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (1), 139-154.

Snoeck D., Abolo D., Jagoret P., 2010. Temporal changes in VAM fungi in the cocoa agroforestry systems of central Cameroon. *Agroforestry Systems*, 78, 323-328.

Snoeck D., Bastide P., Koko L., Joffre J., Jagoret P., 2016. Cacao nutrition and fertilization. *In : Sustainable Agriculture Reviews* (E. Lichtfouse, ed.), New York Springer International Publishing, 155-202.

Snoeck D., Dubos B., 2018. *Improving Soil and Nutrient Management for Cacao Cultivation*, Burleigh Dodds, epub/PDF, [doi:10.19103/AS.2017.0021.13](https://doi.org/10.19103/AS.2017.0021.13) .

Snoeck D., Lacote R., Kéli J., Doumbia A., Chapuset T., Jagoret P., Gohet E., 2013. Association of hevea with other tree crops can be more profitable than hevea monocrop during first 12 years. *Industrial Crops and Products*, 43, 578-586.

Wood G.A.R., Lass R.A., 2001. *Cocoa*, 4^e édition, Londres, Wiley-Blackwell, 620 p.

CHAPITRE 4

Des filets anti-insectes pour faciliter la transition agro-écologique en Afrique

Thibaud Martin, Laurent Parrot, Raphaël Belmin, Thibault Nordey, Claudine Basset-Mens, Yannick Biard, Émilie Deletre, Serge Simon, Fabrice Le Bellec

Le maraîchage africain dans une impasse

Les cultures maraîchères se sont considérablement développées en Afrique subsaharienne ces 50 dernières années, en particulier dans la périphérie des grands centres urbains. Si les légumes feuilles africains (aubergine

africaine, amarante, célosie...) sont surtout cultivés dans les zones rurales, les légumes dit « exotiques » (tomate, salade, carotte, chou...) sont essentiellement cultivés de manière intensive dans les périmètres maraîchers des zones péri-urbaines ou en plein champ sur de grandes parcelles, notamment la tomate industrielle (Huat, 2006).

Des usages phytosanitaires intensifs et inadaptés

Différentes enquêtes sur les pratiques phytosanitaires des petits producteurs maraîchers réalisées en Afrique subsaharienne au cours des 20 dernières années montrent, qu'en zones rurale comme urbaine, le recours à une lutte chimique intensive est généralisé pour faire face aux nombreux bioagresseurs des cultures (Ahouangninou *et al.*, 2011 ; de Bon *et al.*, 2014 ; Azandémè *et al.*, 2015 ; Abteu *et al.*, 2016). Ces mêmes auteurs relèvent en outre des pratiques phytosanitaires à risque pour l'homme et son environnement : doses et fréquences excessives de formulations, détournements d'usage fréquents (par exemple, produits phytosanitaires de la filière coton), pesticides peu spécifiques à spectre large (souvent des mélanges de plusieurs matières actives), méthodes d'application manuelles peu efficaces et dangereuses pour les utilisateurs (par exemple, utilisation de branchages et d'arrosoir pour épandre la produit, pulvérisation sans protection), pratiques d'irrigation inadaptées et/ou applications phytosanitaires dans des conditions non maîtrisées (proximité de points d'eau, mauvaises conditions météorologiques...) entraînant des risques de transfert de molécules chimiques vers les différents compartiments de l'environnement (eaux de surface et souterraine, atmosphère) (Diop, 2013). Une enquête récente réalisée au Kenya dans la zone de production de tomate révèle que, selon plus de 85 % des « petits » producteurs, cette culture en plein champ ne peut pas se conduire sans traitements chimiques hebdomadaires ou bimensuels compte tenu de la pression actuelle des bioagresseurs (Nguetti *et al.*, 2018).

Résistances, invasions

Conséquence de quatre à cinq décennies d'utilisation répétée des produits phytosanitaires, les maraîchers africains se retrouvent dans une impasse technologique : les produits sont de moins en moins efficaces du fait de la

sélection de ravageurs résistants comme la noctuelle de la tomate *Helicoverpa armigera* (Martin *et al.*, 2002), le puceron *Aphis gossypii* (Carletto *et al.*, 2010), la mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gnankiné *et al.*, 2013) ou la teigne du chou *Plutella xylostella* (Agboyi *et al.*, 2016). L'usage de ces pesticides entraîne également la raréfaction des ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes) qui régulent les populations des bioagresseurs locaux mais qui peuvent aussi s'adapter à de nouveaux ravageurs venus sans leur cortège d'ennemis naturels tels que la mouche des fruits *Bactrocera invadens* (Vayssière *et al.*, 2011), l'acarier rouge *Tetranychus evansi* (Azandémè *et al.*, 2015) et tout récemment la teigne de la tomate *Tuta absoluta* (Chailleux *et al.*, 2017).

Le piège du tout chimique

Les petits producteurs africains subissent un certain nombre de contraintes les enfermant dans le « tout chimique ».

Le système de conseil privé encourage la lutte chimique. En Afrique subsaharienne, le conseil technique des producteurs est promulgué par le secteur privé (semenciers, distributeurs et firmes phytosanitaires). Les connaissances relatives aux intrants et aux variétés disponibles pour les petits producteurs sont de ce fait focalisées autour de la lutte chimique (Nguetti *et al.*, 2018). Les plans d'ajustement structurels des années 1990 de la Banque mondiale et du FMI ont en effet démantelé les services de vulgarisation au nom de la libéralisation des marchés et du désengagement de l'État. Ces services de conseil sont dans une phase de reconstruction, les ONG y sont désormais des parties prenantes.

Les règles de rémunération des producteurs encouragent l'élimination des ravageurs. En Afrique subsaharienne, les marchés domestiques des fruits et légumes frais valorisent principalement la qualité visuelle des produits et leur fermeté pour réduire les pertes au transport et au stockage. Aucune valeur ajoutée n'est accordée à la qualité environnementale et sanitaire des produits. Ainsi, pour éviter que leurs récoltes ne soient dévalorisées, les producteurs ont recours à la lutte chimique pour éliminer les ravageurs et maladies responsables de piqûres et/ou de traces sur les fruits.

Le secteur informel demeure important. Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, la situation est bien souvent aggravée par

l'absence ou le peu de contrôle des conditions d'utilisation et de vente des produits phytosanitaires et/ou des résidus de pesticide sur ou dans les produits à destination des marchés locaux contrairement aux produits d'exportation.

La formation des petits producteurs s'avère limitée. Dans ces conditions, difficile de promouvoir des méthodes de lutte alternatives comme la lutte biologique. Les producteurs maraîchers d'Afrique subsaharienne sont en effet encouragés à suivre les conseils de leurs voisins ou de leurs fournisseurs, qui assurent leur formation/conseil par le prisme de la lutte chimique (Nguetti *et al.*, 2018).

Malgré tout, la demande des consommateurs pour des légumes sains commence à prendre de l'ampleur surtout dans les grandes mégapoles africaines mais aussi dans les campagnes. Pour y répondre, certains supermarchés ouvrent des rayons de légumes « bio » ou *organic*. Des petits marchés proposant des fruits et des légumes locaux produits sans pesticide apparaissent dans certains quartiers et quelques producteurs s'impliquent dans la fourniture de paniers de légumes « bio », que ce soit à Abidjan, à Cotonou ou à Nairobi[5]. Dans les zones rurales, des initiatives apparaissent également chez des associations de producteurs sensibilisés à la toxicité des pesticides chimiques et à la nécessité pour leur santé et leur environnement d'une production de fruits et de légumes sains. En Afrique subsaharienne, des ONG telles Songhai, Enda Pronat ou Agrisud s'investissent aussi depuis plusieurs années dans la formation aux techniques de cultures agro-écologiques.

Les pratiques agro-écologiques mises en œuvre sur le terrain

La lutte physique pour protéger les cultures

Depuis une quinzaine d'années, le Cirad expérimente et propose des systèmes de culture maraîchers basés sur les principes de la protection physique des cultures de légumes feuilles et fruits, dans différentes zones climatiques d'Afrique de l'Ouest et de l'Est (Nordey *et al.*, 2017). Ces travaux sont menés en collaboration étroite avec les centres de recherches nationaux (Inrab, Kalro, Isra)[6] et internationaux (Icipe[7], World

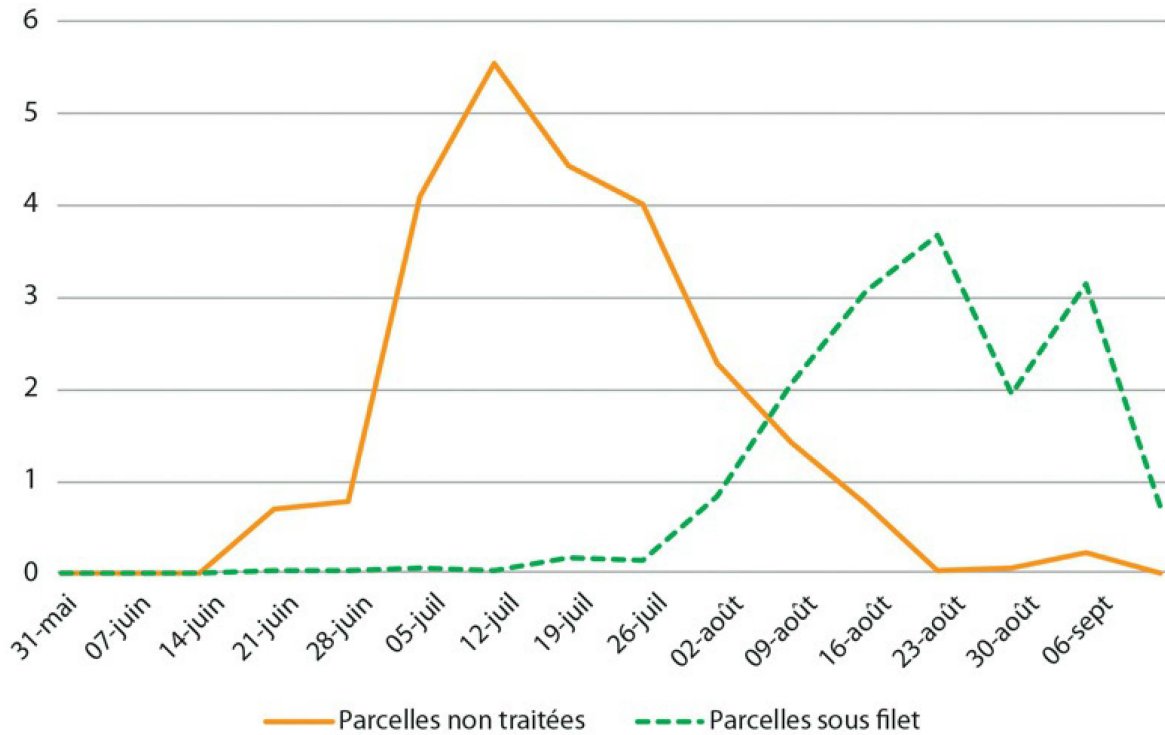
Vegetable Center) et les universités (Abomey-Calavi, Egerton-Njoro, Korhogo, Félix-Houphouët-Boigny, Michigan State, Davis) avec l'appui financier du Cirad et de l'Usaid HIL[8]. Les expérimentations des techniques en station de recherche ont été suivies de démonstrations chez des producteurs pour évaluer ensemble les performances de ces nouvelles pratiques. L'innovation la plus prometteuse consiste en l'utilisation de filets fournissant un environnement climatique favorable aux cultures tout en les protégeant des plus gros ravageurs. Les filets anti-insectes ont été conçus et adaptés aux conditions agroclimatiques de trois pays (Bénin, Sénégal et Kenya). Des analyses coût/bénéfices ont ensuite été réalisées afin d'estimer la rentabilité de cette technologie pour les petits producteurs (Vidogbéna *et al.*, 2015a).

L'efficacité des filets dans la régulation des bioagresseurs

Nos résultats ont montré que l'utilisation de filets anti-insectes permet de réduire considérablement les attaques de ravageurs et en particulier de ceux qui sont responsables de dégâts directs sur la production de fruits (tomate, haricot) ou de feuilles (chou), tels que les oiseaux, les escargots, les chenilles, les mouches ou les criquets (Martin *et al.*, 2006, 2015 ; Saidi *et al.*, 2013 ; Gogo *et al.*, 2014 ; Simon *et al.*, 2014). Selon la taille des mailles des filets, l'aération des cultures — ventilation nécessaire pour éviter un confinement des cultures qui conduirait à l'apparition de maladies cryptogamiques — est permise, même en conditions de climat tropical. À l'inverse, ces filets ne protègent pas totalement les cultures contre les petits ravageurs de type piqueurs-suceurs tels que les pucerons, les mouches blanches, les thrips et les acariens phytophages. Ils peuvent tout de même réduire notablement les infestations de certaines mouches blanches (*Trialeurodes* sp.) sur tomates comparativement à des cultures non abritées (fig. 4.1). Cette technique présente surtout l'avantage d'être accessible et de pouvoir fournir une protection efficace contre certains ravageurs émergents. C'est notamment le cas pour la teigne de la tomate *Tuta absoluta* où l'utilisation d'une barrière physique permet de retarder et réduire les dégâts (Deletre *et al.*, à paraître). Pour compléter la protection contre les petits ravageurs, il est nécessaire, d'une part, d'optimiser les défenses naturelles des plantes cultivées sous filet en s'assurant de l'adaptation des variétés, de la qualité du sol (ressources nutritives et microbiome) et de l'apport en eau (micro-irrigation) et, d'autre part, de mettre en place des méthodes de lutttes compatibles et raisonnées.

a. *Tuta absoluta*

Nombre de larves par plant de tomate



b. *Trialeurodes* sp.

Nombre d'adultes par feuille de tomate

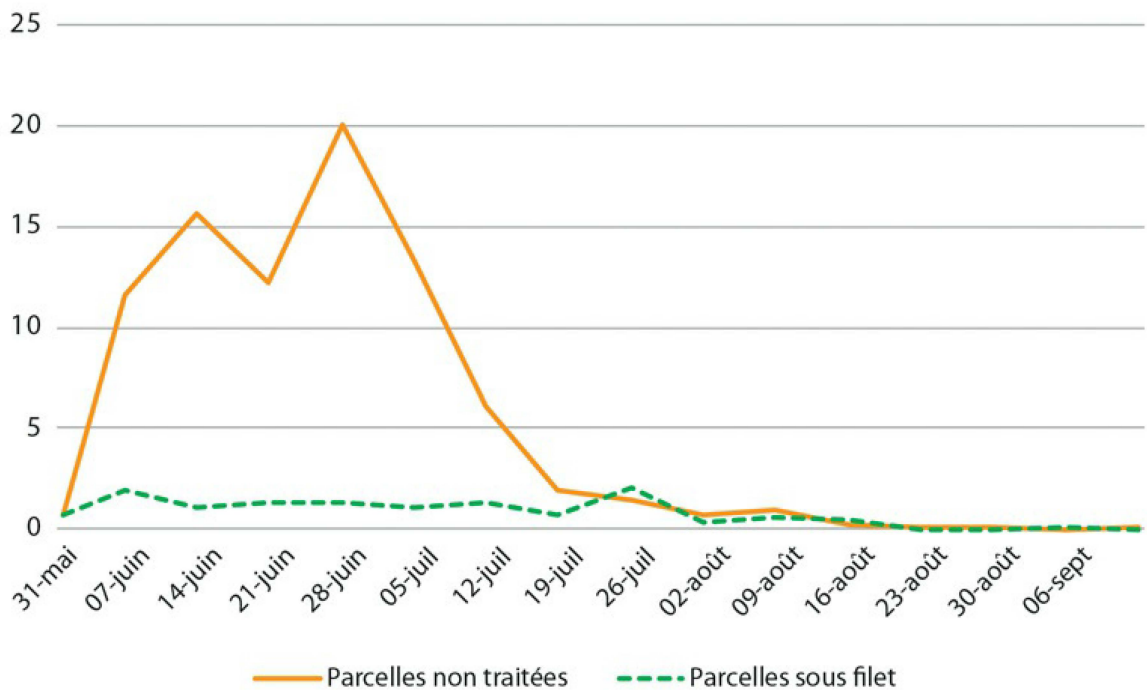


Figure 4.1. Nombre moyen de *Tuta absoluta* (a) et de mouches blanches *Trialeurodes* sp. (b) par feuille de tomate non traitée,

sous filet (trait pointillé) et hors filet (trait plein), dans une expérimentation conduite au Kenya en 2017 sur la station du Kalro, à Mwea.

Les limites de la lutte physique

La lutte physique est généralement considérée à tort comme la solution unique permettant de contrôler tous les ravageurs d'une culture. En réalité, de nombreux insectes, en général des piqueurs-suceurs comme les mouches blanches, les thrips, les pucerons et les acariens, voire des lépidoptères ou des mouches, finissent par entrer sous les abris, et ce quel que soit le type de couverture utilisé.

Par ailleurs, sous des climats tropicaux, l'utilisation de filets avec des mailles plus grosses s'avère nécessaire pour augmenter la ventilation naturelle et diminuer la température et l'humidité relative sous les abris (Nordey *et al.*, 2017). Cette augmentation de la taille de maille diminue la protection physique contre les ravageurs de type piqueurs-suceurs. Certaines espèces, mais pas toutes, pourront même y proliférer d'autant qu'elles seront à l'abri de leurs prédateurs (oiseaux, coccinelles, chrysopes, syrphes) voire de leurs parasitoïdes, même si nous avons montré que l'augmentation de la taille des mailles pouvait aussi faciliter le passage de certaines de ces dernières espèces (Martin *et al.*, 2015).

Au Bénin, par exemple, les choux produits sous filets sont protégés des attaques de chenilles mais ils peuvent être fortement infestés de pucerons, de même que les tomates sous filet qui, elles, sont infestées de mouches blanches de l'espèce *Bemisia tabaci*. Par contre, au Kenya, les infestations de mouches blanches *Trialeurodes* sp. restent toujours faibles sous filet alors qu'elles sont fortes sur les cultures de tomate ou de haricot en plein champ (fig. 4.1). La lutte physique n'étant pas incompatible avec la lutte chimique, celle-ci peut donc continuer à être utilisée avec les excès qu'on connaît car trop souvent les agriculteurs ne connaissent pas toutes les espèces d'insectes ravageurs (et leurs dégâts), encore moins les espèces utiles, et ils ne veulent pas d'insecte sur leurs cultures et cela d'autant plus que celles-ci sont à forte valeur ajoutée.

Autres intérêts agronomiques de la lutte physique

Cette technique se révèle facile à comprendre et à utiliser, tout en étant relativement bien adaptable aux climats tropicaux, du fait de l'ombrage et de la ventilation qui peuvent être modulés par la couleur ou la taille de maille employée (Nordey *et al.*, 2017). C'est aussi une pratique efficace pour protéger les cultures contre les événements climatiques extrêmes comme les pluies torrentielles, les bourrasques ou les sécheresses. Le recours aux filets permet enfin de réduire l'évapotranspiration, et par conséquent de réduire les besoins en eau de la plante, en plus d'améliorer la qualité des fruits, notamment pour la tomate, tant pour sa mise en marché (fermeté) que dans ses qualités organoleptiques (meilleur équilibre sucre/acidité) (Saidi *et al.*, 2013).

Accompagnement technique et soutien des politiques publiques pour diffuser ces innovations

Pour quelle rentabilité économique ?



Photo 4.1. Culture de choux sous tunnels bas couverts de filets au Bénin. © Thibaud Martin / Cirad.



Photo 4.2. Système de culture biologique de tomate sous tunnel haut au Kenya. © Thibaud Martin / Cirad.

L'analyse de la performance économique des innovations agro-écologiques s'inscrit dans les démarches de l'*evidence based policy* (démonstration par la preuve) issue des sciences médicales (Laurent *et al.*, 2009, 2012). Dans notre cas, cela revient à mesurer l'efficacité de l'apport d'un filet anti-insectes, puis à identifier les perspectives de diffusion auprès d'une population de producteurs, et enfin, à évaluer les impacts environnementaux. L'analyse de rentabilité s'inscrit donc à la fois dans une démarche de la démonstration par la preuve, mais aussi dans une démarche d'appui aux politiques économiques sectorielles. Il s'agit alors d'inspirer ou d'orienter des politiques agricoles publiques ou privées sur la base des éléments apportés par une analyse des performances économiques des innovations testées. L'analyse de la rentabilité économique des innovations à l'échelle des agriculteurs est l'un de ces outils ; analyse qui n'est pas uniquement un exercice comptable car c'est aussi la représentation concrète, renseignée et mesurée du système économique dans lequel évolue l'agriculteur. Des programmes de démonstration des filets anti-insectes auprès des petits producteurs ont été mis en place au Bénin (2012-2014) puis au Kenya (2017-2018). Dans le premier cas, il s'agissait de transférer aux producteurs maraîchers du sud du Bénin la technologie des tunnels bas (photo 4.1) couverts de filets, pour protéger les

cultures de choux tant en pépinière qu'en planche de culture[9]. Au Kenya, il s'agissait d'évaluer la rentabilité économique des tunnels hauts couverts de filets pour la production de tomate (photo 4.2), de chou et de haricot vert en rotation dans des zones géographiques différentes[10].

Un indicateur synthétique

Pour analyser la rentabilité de ces innovations, nous avons élaboré un indicateur à partir des rendements agronomiques, des prix au producteur et des coûts. Cet indicateur synthétise donc une performance agronomique, un accès aux marchés et comptabilise les différentes filières d'intrants intervenant dans la production agricole, dont le marché du travail par l'intermédiaire de la main-d'œuvre. La rentabilité est ainsi un indicateur qui traduit non seulement un environnement naturel et des relations aux marchés, mais aussi leur instabilité, leur incertitude. Par exemple, d'importantes pertes de récolte liées à des bioagresseurs, une offre agricole pléthorique sur des marchés agricoles... peuvent abaisser provisoirement les prix payés au producteur. Dans ces deux cas, les revenus du producteur s'en trouvent affectés.

Rentabilité des cultures sous filet

La rentabilité en tant que telle est un indicateur utile, mais l'analyse de la rentabilité relative par rapport à des alternatives proposées à l'agriculteur (ou par rapport à ses pratiques courantes) permet d'éclairer celui-ci dans ses prises de décision en faveur ou non des innovations proposées. En effet, les analyses des performances économiques réalisées au Bénin ont ainsi non seulement montré que les filets anti-insectes sur tunnels bas pour la production de choux étaient rentables, mais aussi que cette rentabilité était en moyenne significativement supérieure par rapport aux méthodes conventionnelles, c'est-à-dire employant couramment des insecticides (Vidogbéna *et al.*, 2015b). Les analyses ont aussi montré une augmentation des rendements en conditions réelles et une amélioration de la qualité des cultures due notamment à la réduction des traitements insecticides (une proportion de choux de plus grande taille et d'un meilleur aspect visuel pour la vente). En fait, les analyses de la rentabilité ont montré que les filets réduisent les variations de rendement et donc de revenus. Ils permettent donc de stabiliser les flux financiers, de réduire la

volatilité de la production et de la qualité. Cette stabilité dans le temps des ressources financières est un élément important pour réduire la vulnérabilité des exploitations agricoles et améliorer leur résilience globale. C'est par conséquent aussi un moyen de faciliter une vision à long terme de l'agriculteur en réduisant les risques qu'il peut percevoir. Cela lui permet à moyen terme d'encourager ses investissements productifs avec moins de risques. En effet, la décision d'investir dépend des anticipations du producteur, lesquelles dépendent entre autres de la perception du risque et de l'incertitude.

Freins et leviers à l'adoption des filets

L'adoption d'une innovation s'inscrit dans un processus de prise de décision qui s'échelonne en plusieurs phases : de la prise de connaissance du fonctionnement de l'innovation jusqu'à des décisions de tester, puis d'adopter (ou de s'approprier) ou non l'innovation ; et, enfin, la confirmation ou non de la décision dans le temps. Les programmes de démonstration des filets anti-insectes auprès des petits producteurs, mis en place au Bénin et au Kenya, ont relevé de démarches *ex ante*, c'est-à-dire de démarches destinées à prévoir les réactions des agriculteurs et non à analyser leurs réactions effectives. En ce qui concerne le processus d'adoption par les petits producteurs pour la protection des cultures de choux, nous avons constaté dans ce pays une réaction ambivalente malgré une rentabilité supérieure aux pratiques courantes (Vidogbéna *et al.*, 2016). En effet, une fraction des producteurs a exprimé un intérêt immédiat pour adopter cette technique (18 %), une moitié était réfractaire et le reste de la population relativement indifférent à l'innovation proposée. Le rejet par les agriculteurs réfractaires se justifiait par une perception du coût du travail anormalement élevée. En fait, ce résultat est aussi prévisible. La rentabilité d'une innovation est nécessaire mais pas suffisante (Rogers, 2003). Aux données quantitatives nécessaires doivent se juxtaposer des analyses qualitatives et dynamiques basées sur les perceptions des récipiendaires. Au-delà de l'évaluation de la technologie, l'agriculteur doit aussi évaluer le contexte dans lequel cette évaluation s'inscrit, c'est-à-dire, comme nous l'avons vu, le contexte agronomique (zone vulnérable aux attaques de ravageurs par exemple), l'accès au marché et aux intrants. Enfin, la perception de la technologie en elle-même par les agriculteurs est à prendre en considération : son avantage comparatif, sa complexité, sa capacité à être testée, la visibilité des

résultats obtenus (Rogers, 2003). Les variations importantes dans cette perception doivent être notées selon la technicité et l'expérience de la culture sous abris que possèdent les agriculteurs (Vidogbéna *et al.*, 2015b, 2016). Par ailleurs, les résultats sur des analyses *ex ante* de l'adoption ne doivent pas occulter le fait que l'adoption — et plus précisément la diffusion — est un élément dynamique. En effet, les réfractaires d'aujourd'hui sont peut-être les pionniers de demain, ou les adoptants de demain.

L'analyse de la rentabilité pour appuyer des politiques ciblées

La déclinaison détaillée de la performance économique par une analyse de la rentabilité permet de mettre en évidence non seulement les conditions de production mais aussi de formuler des hypothèses pour des politiques ciblées d'appui public ou privé. Dans le cas du Kenya et du haricot vert par exemple, la figure 4.2 décline, pour huit agriculteurs, le ratio coût/bénéfice rapporté à la production commercialisée, dans le cas d'un filet subventionné intégralement et dans le cas d'un filet non subventionné. La zone rouge représente le seuil de rentabilité. Ce schéma montre d'une part des situations de production contrastées et d'autre part les effets que pourrait provoquer une subvention pour des filets anti-insectes, et consécutivement la pertinence de politiques agricoles ciblées en fonction des types d'exploitation agricole.

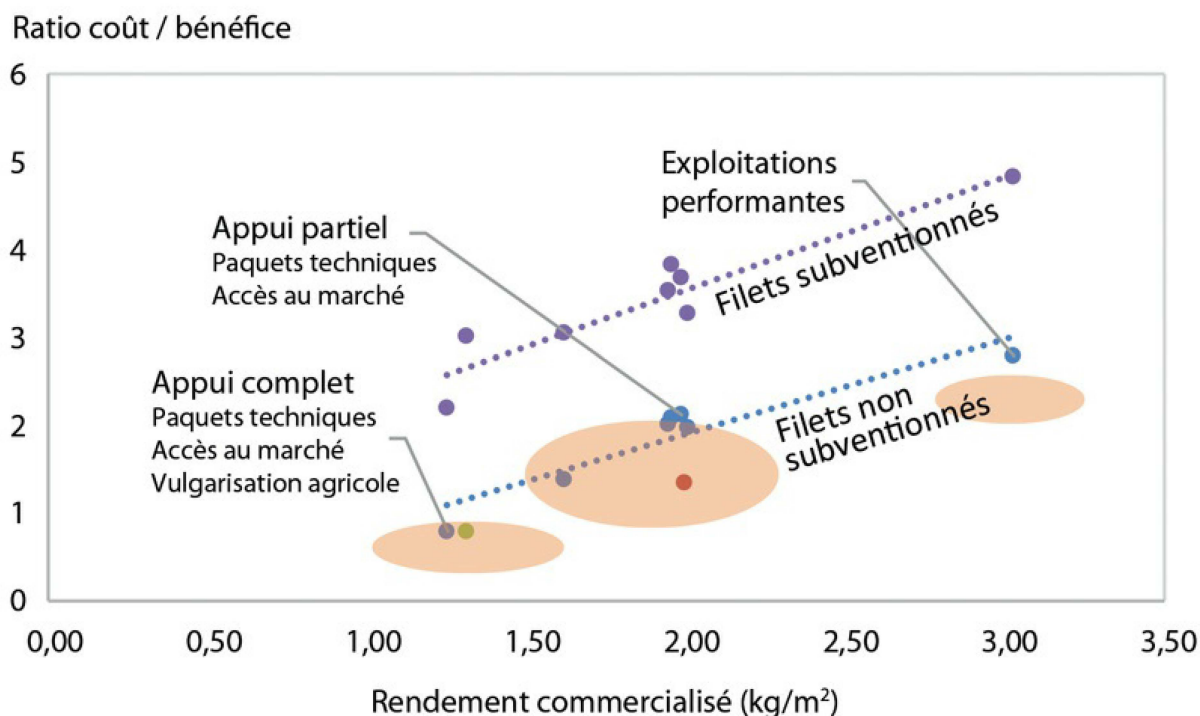


Figure 4.2. Ratio coût/bénéfice rapporté à la production commercialisée dans le cas d'un filet subventionné intégralement et dans le cas d'un filet non subventionné pour huit producteurs au Kenya (Mujuka *et al.*, à paraître).

Des conditions de production contrastées

En ce qui concerne les situations de production commercialisée, on observe que les agriculteurs suivis au Kenya ont eu une production contrastée (Mujuka *et al.*, à paraître). Théoriquement, quel que soit le rendement, la relation devrait être directe entre le ratio coût/bénéfice rapporté à la production commercialisée. Mais en fait, de nombreux facteurs biotiques et abiotiques peuvent affecter les rendements. Dans le cas des huit agriculteurs, nous avons observé par exemple un cas où le rendement a été affecté par un contrat d'entretien non respecté par un exportateur sur la parcelle. Nous avons aussi observé des prix bord champ du haricot vert faibles provoqués par une période électorale (départ des étrangers), mais aussi de faibles prix en général. Nous avons aussi observé l'importance d'une bonne maîtrise technique ou encore l'importance d'avoir des variétés de semences de qualité et adaptées pour favoriser les rendements. Dans certains cas, les zones agroclimatiques affectent les conditions de production et déclenchent des chaînes de causalités : un environnement inadapté provoque un usage excessif d'intrants de synthèses, souvent inefficace et qui aboutit à des pertes économiques.

Nous avons grossièrement identifié trois groupes d'agriculteurs : des agriculteurs que l'on pourrait qualifier de subsistance, des agriculteurs dans la moyenne générale, et un agriculteur de type pionnier ou précurseur. Dans ce contexte, le coût des filets n'est par exemple pas rentable pour les exploitations de subsistance. En effet, pour celles-ci, le seuil de rentabilité est inférieur à 1.

Vers des politiques d'appui ciblées

Une typologie de la performance économique des innovations en conditions réelles, c'est-à-dire en collectant et en regroupant l'ensemble des contraintes qui affectent la prise de décision de l'agriculteur et la performance économique des innovations proposées, s'inscrit aussi dans les démarches de l'*evidence based policy*. Les politiques d'appui ont besoin d'une information basée sur des faits réels et en lien avec les bénéficiaires des innovations, les agriculteurs. On a pu montrer quelques exemples d'hypothèses de politiques d'appui ciblées en fonction des observations relevées sur le terrain. Dans le cas d'une subvention pour des filets anti-insectes, on observerait une amélioration de la rentabilité mécanique pour l'ensemble des exploitations. Les filets pour les exploitations de subsistance atteindraient le seuil de rentabilité. En ce qui concerne les politiques agricoles ciblées, la stratégie de diffusion peut être soit commerciale avec un coût de la technologie imputé à l'agriculteur, soit publique, c'est-à-dire un coût transformé en subvention par le gouvernement sous la forme d'aides directes. Des stratégies segmentées sur l'accès aux marchés pourraient aussi améliorer les prix ou le partage de la valeur ajoutée (circuits courts, contrats avec les supermarchés, marchés de niche, etc.). Sur ces points, des politiques de prix liés au respect de diverses normes et standards permettraient de compenser les coûts de mise en œuvre de démarches de qualité. L'analyse de la performance économique basée sur des analyses de rentabilité des innovations permet aussi d'identifier des politiques d'assurance face aux aléas climatiques et au risque économique. Toute la question revient donc à étudier les relations économiques entre le secteur formel et le secteur informel dans lequel évoluent les exploitations agricoles (de Bon *et al.*, 2014). Enfin, des politiques de vulgarisation agricoles adaptées pourraient améliorer la prise en main des innovations.

Toutes ces politiques d'appuis ciblées impacteraient indirectement

l'analyse de rentabilité des filets. Et cet impact pourrait de surcroît se différencier en fonction des populations agricoles : une population en général relativement limitée d'agriculteurs dynamiques à la tête d'exploitations agricoles bien dotées en capital productif, une population d'agriculteurs moyennement dotés, et une population d'agriculteurs faiblement dotés en capital productif et dans une logique de sécurité alimentaire.

Les interactions entre politiques d'appui et rentabilité sont donc cruciales. Pour reprendre le schéma, des politiques agricoles ciblées en faveur des exploitations agricoles de subsistance pourraient par exemple consister à subventionner les équipements productifs, à faciliter l'écoulement commercial des produits par des prix contrôlés, et à accompagner les producteurs par des services de vulgarisation.

Quels impacts environnementaux ?

L'un des bénéfices attendus de la technologie des filets est un impact environnemental moindre, notamment par unité produite en lien avec les meilleurs rendements associés, un recours moindre aux pesticides et une utilisation de l'eau plus efficace dans les systèmes de culture. Une analyse du cycle de vie de la tomate en jardin périurbain au Bénin a en effet permis de révéler que des pratiques agricoles mal maîtrisées (usages excessifs de pesticides, fertilisation et irrigation) associées à des rendements généralement faibles, conduisent inévitablement à des impacts environnementaux très élevés par unité produite (Perrin *et al.*, 2015 ; Perrin *et al.*, 2017). Concernant les systèmes de culture avec filet, la question de fond est par conséquent de savoir si les meilleurs rendements attendus et la moindre utilisation d'intrants (eau et pesticides notamment) pallient les impacts environnementaux associés à la production, l'acheminement et la fin de vie des filets eux-mêmes. Quelle serait la part de ces filets dans les performances alors que la performance agronomique réelle de ces systèmes est très dépendante à la fois de la maîtrise des producteurs et de leurs contraintes de production ? On a vu en effet que l'usage de filets n'était pas nécessairement synonyme de moindre utilisation des pesticides. Des analyses du cycle de vie réalisées sur des systèmes de culture maraîchers sous abris non chauffés ont montré l'importance des infrastructures et de leur durée de vie mais aussi de la gestion de leur fin de vie (Payen *et al.*, 2015 ; Boulard *et al.*, 2011 ;

Martínez-Blanco *et al.*, 2011 ; Torrellas *et al.*, 2012).

Allonger la durée de vie des matériaux synthétiques, les recycler ou utiliser des matériaux organiques font partie des solutions possibles pour réduire les impacts environnementaux des systèmes sous-abris. La gestion des déchets des infrastructures est également cruciale dans les impacts environnementaux de ces systèmes, notamment le taux de recyclage des plastiques, rendu plus délicat et coûteux par la présence d'impuretés éventuelles (sol, pesticides). La valorisation énergétique des déchets de plastique constitue ainsi une alternative intéressante au recyclage, le pouvoir calorifique du polyéthylène par exemple étant équivalent à celui du diesel. De façon globale, l'éco-efficience des systèmes de culture sous filet dépendra des niveaux d'intrants de toute nature utilisés (fertilisants, pesticides, eau, sol, énergie, filets et autres équipements éventuels) et de leurs rendements, tout en restant très dépendante du niveau de maîtrise des producteurs et de leurs contraintes pédoclimatiques de production, en lien avec les performances agronomiques de ces systèmes selon les régions d'Afrique. Elle dépendra aussi du niveau de maîtrise de la technologie par le producteur qui lui permet de réduire plus ou moins les impacts négatifs d'une culture sous abris par rapport à une culture en plein champ. La combinaison d'une maîtrise optimale de la technique des filets grâce à une formation des producteurs avec le choix de régions de production adaptées à cette technologie devrait permettre de réduire les impacts environnementaux de la production maraîchère en Afrique subsaharienne. Une synergie d'action entre les experts et chercheurs des disciplines de l'agronomie, de l'économie, de l'analyse socio-technique et de l'évaluation environnementale des systèmes devra être recherchée pour atteindre la meilleure cohérence et la meilleure représentativité possibles de ces approches conjointes. Elle est actuellement en cours dans le cadre des projets ANR-Éco-Plus au Kenya (2017-2020) et HortiNet en Côte-d'Ivoire (2018-2021).

Conclusion

Nos premières observations au Bénin et au Kenya suggèrent que le recours à la lutte physique par les filets stimule des changements profonds.

Il favorise une réduction de l'usage des pesticides. Testés en milieu paysan, les filets diminuent comme prévu la prévalence des vers et des

chenilles qui attaquent directement les fruits et les feuilles. Or, comme dans la majorité des cas, les producteurs déclenchent leurs traitements en se basant sur une observation de la prévalence des insectes ou des dégâts occasionnés par ces derniers (fruits ou feuilles troués), la protection offerte par les filets les conduit à réduire significativement la fréquence des traitements phytosanitaires.

Il permet aussi aux agriculteurs d'expérimenter le potentiel de l'usage des filets. Faut-il rappeler qu'en Europe les filets ont d'abord été de l'initiative des agriculteurs ? Grâce à la culture sous filets, les agriculteurs découvrent qu'il est possible de produire plus avec moins de produits phytosanitaires et de surmonter les enjeux et problèmes posés par les résistances aux insecticides. Au Kenya, la diffusion est facilitée par un climat frais de hauts plateaux et donc par les effets de serres bénéfiques au rendement que permettent les filets. Au Bénin, la diffusion sera sans doute plus lente à cause du climat humide contraignant pour les rendements et le manque de réseau de distribution.

La diffusion et l'adoption des filets facilitent en outre une mise en réseau des acteurs. Au Kenya, les projets de diffusion des filets ont ainsi contribué au rapprochement d'acteurs partageant un intérêt pour l'agriculture biologique (Whatsapp group). D'une part, un certain nombre de pionniers se sont révélés, et sont devenus des modèles à suivre pour des groupes d'agriculteurs souhaitant s'engager. D'autre part, des liens ont été créés entre ces groupes d'agriculteurs et des entreprises innovantes spécialisées dans la fourniture d'outils de protection biologique.

Enfin, cela a permis des politiques ciblées pour une transition vers l'agriculture agro-écologique. Bien souvent, la transition vers l'agriculture biologique ou l'agro-écologie est perçue par les agriculteurs comme un pari risqué. Or, l'environnement confiné offert par les filets rend plus efficaces et moins incertaines les méthodes non chimiques de protection des cultures. Ainsi, les filets deviennent un levier de transition vers ces modes de culture durables. Des politiques d'appui ciblées en fonction des types de producteurs prennent alors tout leur sens.

Références

Abtew A., Affognon H., Martin T., Niassy S., Kreiter S., Tropea Garzia

G., Subramanian S., 2016. Farmers' knowledge and perception of grain legume pests and their management in the Eastern province of Kenya. *Crop Protection*, 87, 90-97.

Ahouangninou C., Fayomi B., Martin T., 2011. Évaluation des risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires des producteurs maraîchers dans la commune rurale de Tori-Bossito (Sud-Bénin). *Cahiers agricultures*, 20, 216-22.

Agboyi L.K., Ketoh G.K., Martin T., Glitho I.A., Tamò M., 2016. Pesticide resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations from Togo and Benin. *International Journal of Tropical Insect Science*, 36, 204-210.

Azandémè-Hounmalon Y.G., Affognon H.D., Assogba Komlan F., Tamo M., Fiaboe K.K.M., Kreiter S., Martin T., 2015. Farmers' control practices against the invasive red spider mite, *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard in Benin. *Crop Protection*, 76, 53-58.

Boulard T., Raeppele C., Brun R., Lecompte F., Hayer F., Carmassi G., Gaillard G., 2011. Environmental impact of greenhouse tomato production in France. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 757-77.

Carletto J., Martin T., Vanlerberghe-Masutti F., Brévault T., 2010. Insecticide resistance traits differ among genotypes from different host races in the aphid, *Aphis gossypii*. *Pest Management Science*, 66, 301-307.

Chailleux A., Droui A., Bearez P., Desneux N., 2017. Survival of a specialist natural enemy experiencing resource competition with an omnivorous predator when sharing the invasive prey *Tuta absoluta*. *Ecology and Evolution*, 7, 8329-8337.

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.

Diop A., Diop Y.M., Thiaré D.D., Cazier F., Sarr S.O., Kasprowiak A., Landy D., Delattre F., 2016. Monitoring survey of the use patterns and pesticides residues on vegetables in the Niayes zone, Senegal. *Chemosphere*, 144, 1715-21

Gnankiné O., Mouton L., Savadogo A., Martin T., Sanon A., Dabire R.K., Vavre F., Fleury F., 2013. Biotype status and resistance to neonicotinoids and carbosulfan in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Burkina Faso, West Africa. *International Journal of Pest Management*, 59, 95-102.

Gogo E.O., Saidi M., Ochieng J.M., Martin T., Baird V., Ngouajio M., 2014. Microclimate modification and insect pest exclusion using agronets improves pod yield and quality of french beans. *HortScience*, 49,10, 1-7.

Huat J., 2006. Facteurs limitatifs du rendement de la tomate industrielle en périmètres irrigués au Nord Sénégal. *Cahiers agricultures*, 15, 293-300.

Laurent C., Baudry J., Berriet-Sollic M., Kirsch M., Perraud D., Tinel B., Trouvé A., Allsopp N., Bonnafous P., Burel F., Carneiro M.J., Giraud C., Labarthe P., Matose F., Ricroch A., 2009. Pourquoi s'intéresser à la notion d'*evidence-based policy* ? *Revue Tiers Monde*, 200, 853-873.

Laurent C., Berriet-Sollic M., Labarthe P., Trouve A., 2012. *Evidence-based policy* : De la médecine aux politiques agricoles ? *Notes et études socio-économiques*, 36, 79-101.

Martin T., Chandre F., Ochou Ochou G., Vaissayre M., Fournier D., 2002. Pyrethroid resistance mechanisms in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from West Africa. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 74, 17-26.

Martin T., Assogba-Komlan F., Houndete T., Hougard J.M., Chandre F., 2006. Efficacy of mosquito netting for sustainable small holders' cabbage production in Africa. *Journal of Economic Entomology*, 99, 450-454.

Martin T., Simon S., Parrot L., Assogba Komlan F., Vidogbena F., Adegbidi A., Baird V., Saidi M., Kasina M., Wasilwa L.A., Subramanian S., Ngouajio M., 2015. Eco-friendly nets to improve vegetable production and quality in sub-Saharan Africa. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 1105, 221-228.

Martínez-Blanco J., Muñoz P., Antón A., Rieradevall J., 2011. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of Cleaner Production*, 19, 985-97.

Nguetti J.H., Imungi J.K., Okoth M.W., Wang'ombe J., Mbacham W.F., Mitema S.E., 2018. Assessment of the knowledge and use of pesticides by the tomato farmers in Mwea Region, Kenya. *African Journal of Agricultural Research*, 13, 379-388.

Nordey T., Basset-Mens C., De Bon H., Martin T., Déletré E., Simon S., Parrot L., Despretz H., Huat J., Biard Y., Dubois T., Malézieux E., 2017. Protected cultivation of vegetable crops in sub-Saharan Africa: Limits and prospects for small holders. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 53.

Payen S., Basset-Mens C., Perret S., 2015. LCA of local and imported tomato: An energy and water trade-off. *Journal of Cleaner Production*, 87, 139-48.

Perrin A., Basset-Mens C., Huat J., Yehouessi W., 2015. High environmental risk and low yield of urban tomato gardens in Benin. *Agronomic Sustainable Development*, 35, 305-315.

Perrin A., Basset-Mens C., Huat J., Gabrielle B., 2017. The variability of field emissions is critical to assessing the environmental impacts of vegetables: A Benin case-study. *Journal of Cleaner Production*, 153, 104-113.

Rogers E.M., 2003. *Diffusion of Innovations*, 5^e édition, Free Press, New York, États-Unis, 576 p.

Saidi M., Gogo E.O., Itulya F.M., Martin T., Ngouajio M., 2013. Microclimate modification using eco-friendly nets and floating row covers improves tomato (*Solanum lycopersicum*) yield and quality for small holder farmers in East Africa. *Agricultural Science*, 4, 577-584.

Simon S., Assogba Komlan F., Adjaïto L., Mensah A., Coffi H., Ngouajio M., Martin T., 2014. Efficacy of insect nets for cabbage production and pest management depending on the net removal frequency and microclimat. *International Journal of Pest Management*, 60, 208-216.

Torrellas M., Antón A., Ruijs M., García Victoria N., Stanghellini C., Montero J.I., 2012. Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 28, 45-55.

Vayssières J.F., Vannière H., Gueye P.S., Barry O., Hanne A.M., Korie S., Niassy A., Ndiaye M., Delhove G., 2011. Preliminary inventory of fruit fly species (Diptera: Tephritidae) in mango orchards in the Niayes region, Senegal. *Fruits*, 66, 91-107.

Vidogbéna F., Adégbidi A., Assogba-Komlan F., Martin T., Ngouajio M., Simon S., Tossou R., Parrot L., 2015a. Cost: Benefit analysis of insect net use in cabbage in real farming conditions among smallholder farmers in Benin. *Crop Protection*, 78, 164-171.

Vidogbéna F., Adegbidi A., Tossou R., Assogba Komlan F., Ngouajio M., Martin T., Simon S., Parrot L., Zander K.K., 2015b. Control of vegetable pests in Benin Farmers' preferences for eco-friendly nets as an alternative to insecticides. *Journal of Environmental Management*, 147, 95-107.(

Vidogbéna F., Adegbidi A., Tossou R., Assogba Komlan F., Martin T., Ngouajio M., Simon S., Parrot L., Garnett S.T., Zander K.K., 2016. Exploring factors that shape small-scale farmers' opinions on the adoption of eco-friendly nets for vegetable production. *Environment, Development and Sustainability*, 18, 1749-1770.

CHAPITRE 5

Accompagner les acteurs de la transition agro-écologique au Laos

Pascal Lienhard, Jean-Christophe Castella, Pierre Ferrand, Morgane Cournarie, Patrick d'Aquino, Éric Scopel, Nathalie Bougnoux

Les déterminants de la transition agro-écologique au Laos

Au Laos, la transition agraire est caractérisée par des changements rapides

des systèmes de production agricole. Depuis le début des années 2000, on assiste à une transition depuis une agriculture de subsistance, essentiellement basée sur la culture du riz, la cueillette forestière et l'élevage extensif, vers des systèmes de production agricole tournés vers le marché, avec une augmentation importante et rapide des cultures exportées (fig. 5.1) vers les pays voisins, principalement la Chine, la Thaïlande et le Vietnam. Cette transition a été favorisée par la mise en œuvre de politiques publiques successives de stabilisation de la défriche-brûlis et de modernisation de l'agriculture (encadré 5.1), et par l'intégration du pays à l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (Asean) en 1997.

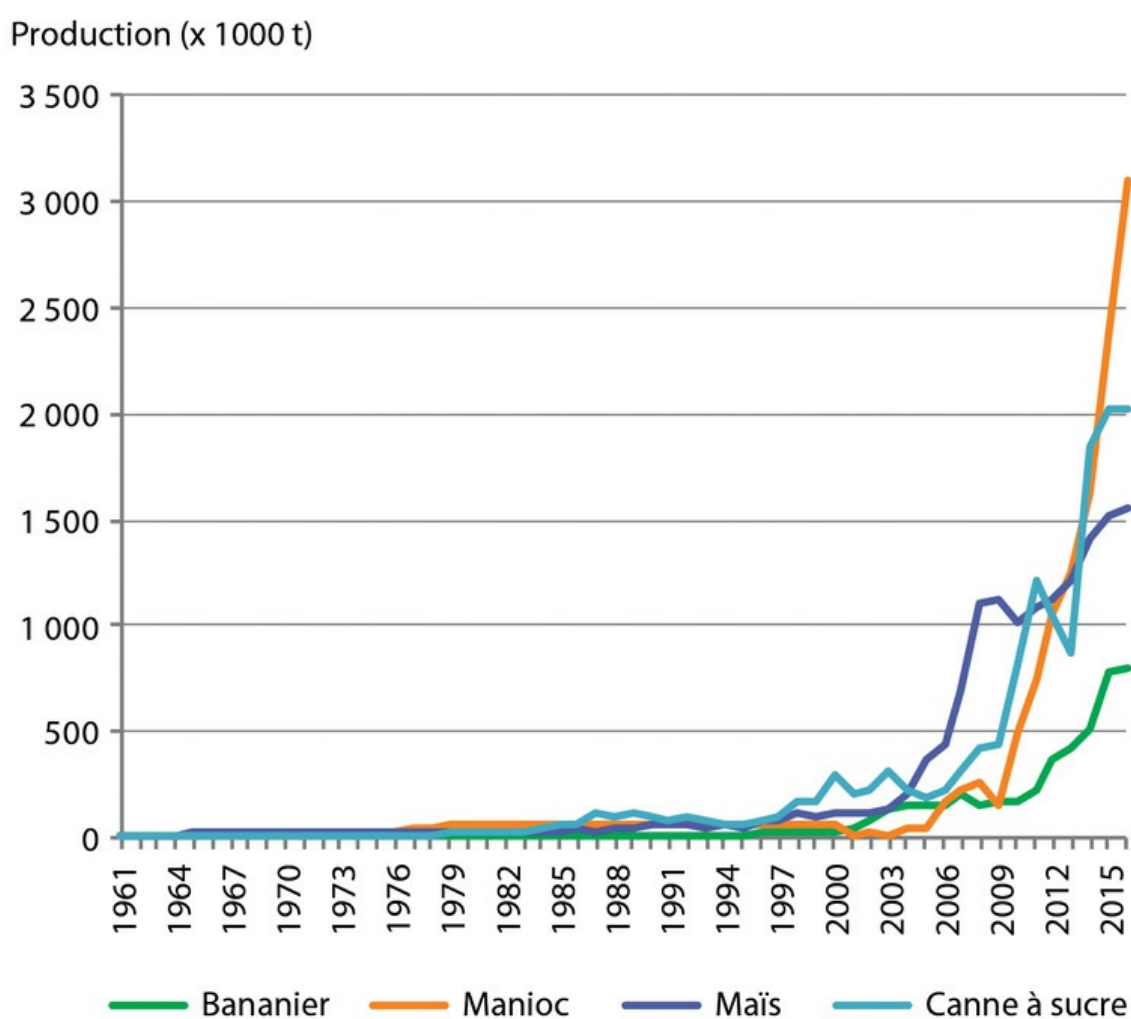


Figure 5.1. Évolution de la production des principales cultures d'export au Laos sur la période 1961-2016 (source : FAOstat).

Encadré 5.1. Historique des politiques de stabilisation de la défriche-brûlis et de modernisation de l'agriculture au Laos

d'après Castella et Phimmasone, 2017

Années 1980

Interdiction (et criminalisation) de la culture itinérante sur brûlis ; cette politique sera associée à une délocalisation massive des villages vers des zones plus accessibles, et une augmentation, localement, de la pression agricole sur les terres.

Années 1990

Aménagement territorial et politique des « trois parcelles » (pas plus de trois parcelles en rotation par exploitation) ; politiques appliquées pour tenter de réduire la déforestation. La réduction de la durée des jachères va considérablement affecter la durabilité des systèmes de culture en rotation.

Années 2000

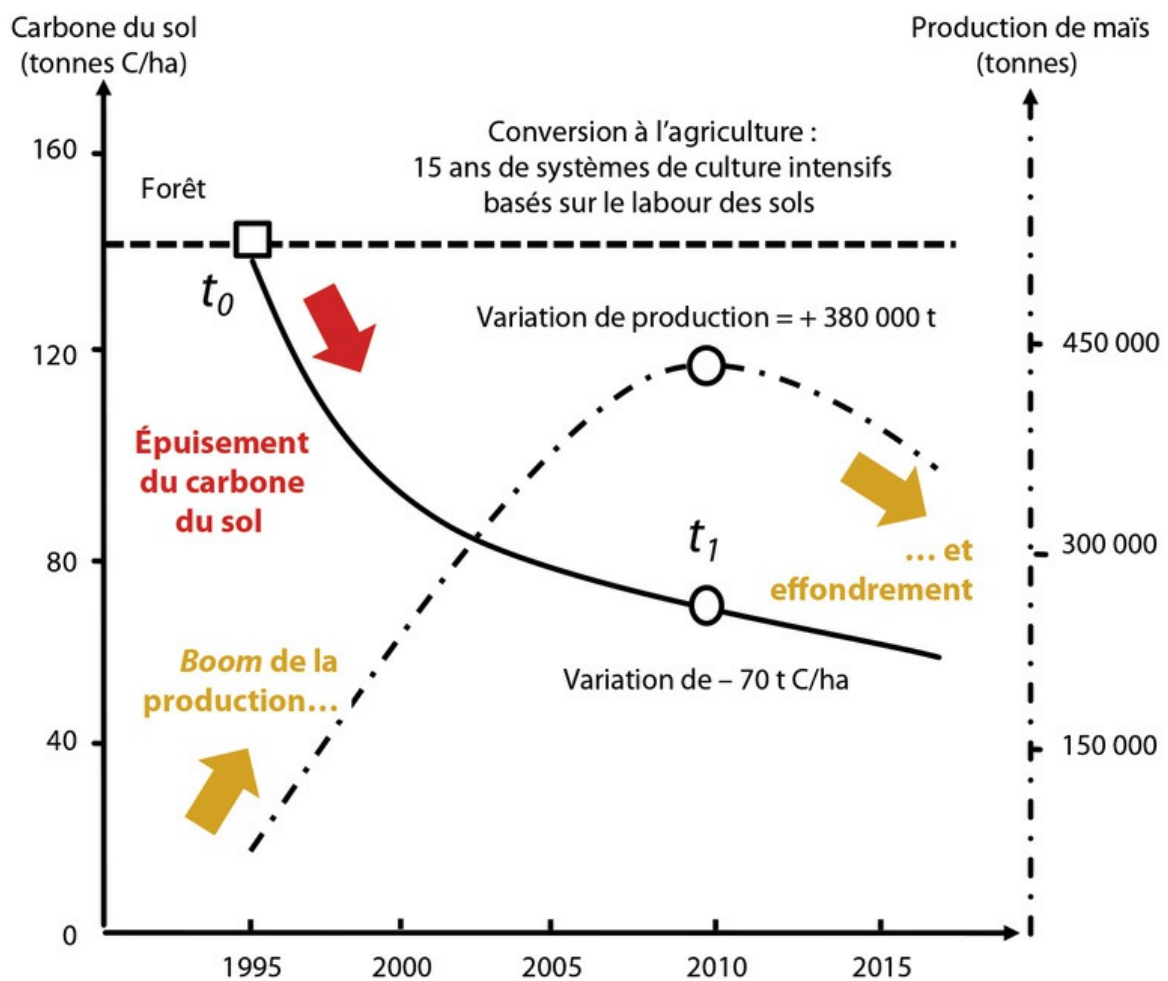
Transformer la terre en capital (*Turning land into capital*) ; politique ayant pour but de moderniser l'agriculture à travers des concessions économiques qui engagent les petits exploitants dans des pratiques de gestion des terres plus intensives.

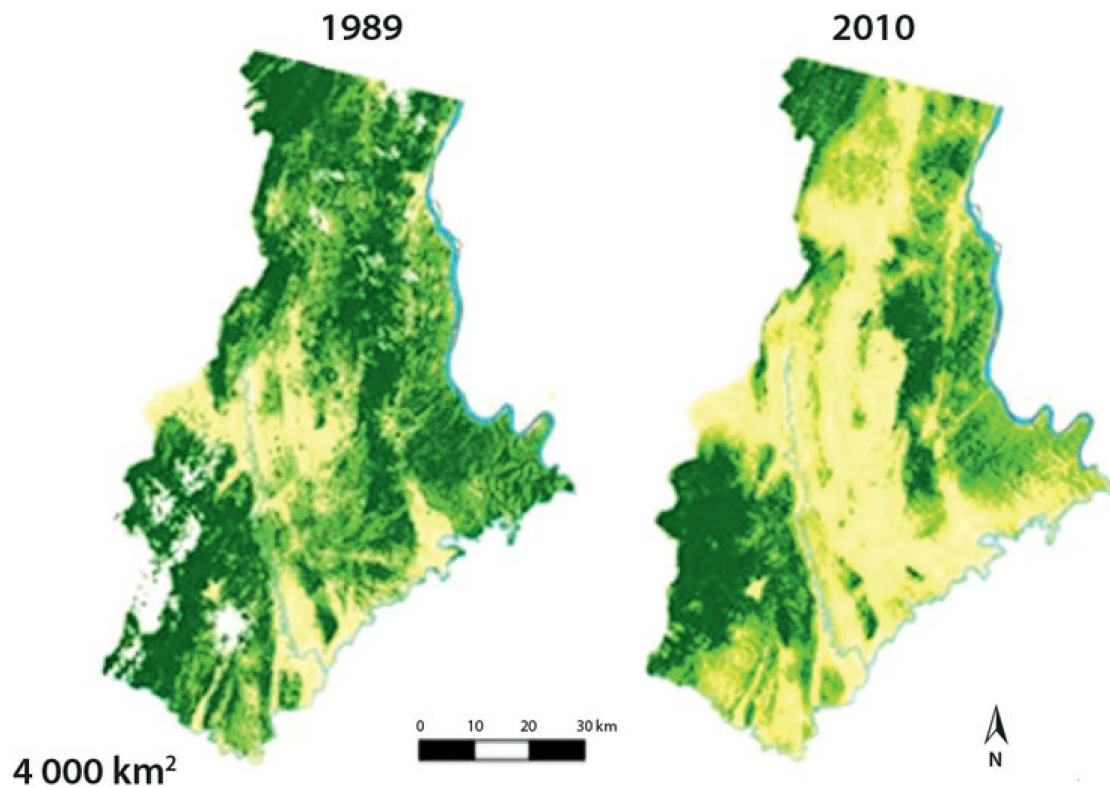
L'expansion rapide des cultures commerciales a certes permis une diminution globale de la pauvreté mais a également engendré une fragilisation des communautés agricoles (75 % de la population totale du pays), avec l'accroissement des inégalités entre producteurs, une forte hausse de l'endettement, et aussi une augmentation de la vulnérabilité de ces communautés. L'accroissement des risques économiques (situations fréquentes de monopoles commerciaux locaux, contrats de production fixant les termes et les prix peu respectés, variations interannuelles fortes des prix, etc.) s'ajoute à l'augmentation des aléas climatiques.

Par ailleurs, si ces politiques ont favorisé la diminution de la défriche-brûlis et l'adoption de pratiques agricoles plus intensives, elles ont également désorganisé les modes de gestion traditionnels de la fertilité des sols, fondés sur les jachères longues, et *in fine* la durabilité des systèmes agricoles. En effet, les modèles techniques promus restent ceux issus de la révolution verte : hybrides et semences améliorées, travail mécanisé des sols, recours accru et croissant aux intrants chimiques externes (engrais et pesticides). Or ceux-ci ont un impact négatif sur les ressources naturelles : dégradation des terres agricoles, pollutions, érosion de la biodiversité (fig. 5.2).

Conscientes des limites du modèle agricole actuel, les autorités lao réfléchissent depuis les années 2010 à un modèle alternatif de croissance verte (*Green growth national strategy*) mais des visions concurrentes persistent sur la façon de mettre en œuvre cette stratégie. Force est de constater que les pratiques agro-écologiques (agriculture biologique, agriculture de conservation, agroforesterie, approches intégrées agriculture-élevage, lutte intégrée, système de riziculture intensif, etc.) promues depuis le début des années 2000 par différentes institutions gouvernementales et non gouvernementales (tab. 5.1) sont peu adoptées et pèsent peu par rapport au modèle d'intensification conventionnel.

C'est dans ce contexte que deux approches complémentaires ont été testées depuis 2014 pour favoriser la transition agro-écologique au Laos : la recherche-action engageant l'ensemble des habitants de communautés villageoises situées dans les zones de montagne du nord Laos (projet Eficas) et la création d'un réseau régional visant le partage d'expériences dans le domaine de l'agro-écologie (projet Actae).





Variation de la surface en forêt : – 80 000 ha

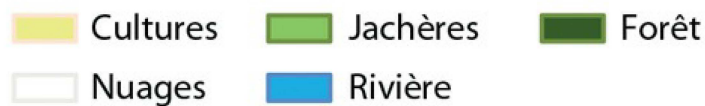


Figure 5.2. Déforestation et impact des systèmes de culture conventionnels de maïs sur les stocks en carbone dans le sud de la province de Sayaboury (Laos) (Tivet *et al.*, 2017).

Les approches testées

La recherche-action Eficas

Le projet Eficas (*Eco-Friendly Intensification and Climate resilient Agricultural Systems in Lao PDR*) est financé depuis 2014 par l'Agence française de développement (AFD) et l'Union européenne dans le cadre de l'Alliance globale contre le changement climatique. Il est mis en œuvre par le Dalam (Department of Agricultural Land Management) du ministère de l'Agriculture et des Forêts du Laos avec l'appui du Cirad. Dans chacun des

douze villages du projet répartis dans les trois provinces de Luang Prabang, Houaphan et Phongsaly, ce projet engage l'ensemble de la communauté villageoise pour mettre en œuvre des pratiques agro-écologiques adaptées aux différents compartiments du paysage : bas-fonds rizicoles (par exemple système de riziculture intensive, cultures de contre-saison), jardins autour des maisons (par exemple compostage, système intégré cultures-élevages), parcelles sur les pentes (par exemple agriculture de conservation avec cultures de légumineuses en association avec les céréales, agroforesterie, domestication de produits forestiers non ligneux, aménagements de zones d'élevage ou encore production de fourrages).

Les activités du projet Eficas s'articulent autour :

- de la co-conception de plans d'utilisation des terres pour répondre aux besoins et demandes des communautés villageoises et des filières agricoles locales en intégrant des pratiques agro-écologiques innovantes ;
- du renforcement des capacités des agents de vulgarisation, afin qu'ils puissent jouer le rôle de facilitateurs dans les processus de négociation (entre agriculteurs, autorités locales et commerçants), et de celles des producteurs (maîtrise des itinéraires techniques, conservation du matériel végétal, valorisation des sous-produits issus des cultures associées) ;
- du suivi-évaluation de la résilience des communautés agricoles aux chocs externes (économiques, climatiques) pour évaluer la performance des innovations techniques et organisationnelles, et plus généralement les dynamiques territoriales à l'échelle des villages d'intervention.

Tableau 5.1. État des lieux de l'agro-écologie au Laos en 2013 (sources : Castella et Kibler, 2015a ; Lestrelin, 2015 ; Lienhard *et al.*, 2014).

Pratique agro-écologique	Historique de promotion au Laos	Niveau d'adoption (en 2013)
Agriculture biologique (AB)	Depuis le début des années 2000 Initiatives d'ONG locales et internationales. Par exemple Helvetas (projet Profil), ASDSP, Saeda, PADETC, Oxfam, AgriSud, SNV, GAA Sur filières riz et légumes principalement Appui du Cirad au développement de la filière café bio dans le plateau des	Pas de données agrégées à l'échelle nationale mais encore marginal (surfaces et volumes produits) Des résultats locaux décrits comme encourageants : Profil (700 familles), Saeda

	Bolovens (AGPC)	
Lutte intégrée contre les ravageurs (IPM)	<p>Initiée en 1996 par la FAO et le MAF (Service de la protection des végétaux) Approche <i>Farmers' Field Schools</i> (FFS)</p> <p>Initiatives complémentaires à partir de 2000 appuyées par des ONG. Par exemple ABP, AgriSud, SNV, Oxfam Belgique, ASDSP</p> <p>Sur filières riz (bas-fond) et légumes principalement</p> <p>Réseau gouvernemental national IPM créé en 2013 avec mise en place d'un correspondant/expert IPM au niveau des services agricoles de toutes les provinces et de certains districts</p> <p>Promotion des approches IPM et FFS dans toutes les provinces du Laos pour le riz et dans huit provinces pour les systèmes maraîchers</p>	<p>Pas de données agrégées à l'échelle nationale</p> <p>Adoption locale variable selon les provinces (et l'importance des filières maraîchères et des surfaces en bas-fond)</p> <p>Le recours aux pesticides dans l'agriculture reste néanmoins croissant</p>
Agroforesterie (AF)	<p>Depuis le début des années 2000</p> <p>Trois domaines d'intervention :</p> <ul style="list-style-type: none"> – protection et régénération des forêts endémiques – développement et protection des produits forestiers non ligneux – promotion de systèmes agroforestiers associant des plantations commerciales (hévéa, palmier à huile) à des cultures annuelles (riz, maïs) ou pluriannuelles (gingembre, galangar) <p>Nord Laos</p> <p>Principales institutions/acteurs : Sida-Narc-FSRC, PADETC, SDC, Gret (bambou), Agroforest Cie (benjoin), CCL et GDA (cardamome)</p>	<p>Pas de données agrégées à l'échelle nationale</p>
Système de riziculture intensive (SRI)	<p>Initié en 2006 au travers de deux initiatives : ProNet 21 et projet NCMI</p> <p>Décret du MAF en septembre 2008 pour la promotion nationale du système de riziculture intensive dans tous les bassins irrigués</p>	<p>Pas de données agrégées à l'échelle nationale</p> <p>Données projets (2010) : adoption par plus de 10 000 familles</p>

	bassins irrigués	plus de 10 000 familles et pour 3 600 ha
Agriculture de conservation (AC)	Depuis le début des années 2000 Projets pilotes dans deux provinces, appuyés par le Cirad et le MAF-Nafri/Dalam Décret et circulaire du MAF pour la promotion de l'agriculture de conservation à l'échelle nationale (2005 et 2011)	Peu de dissémination en dehors des zones pilotes d'intervention Abandon important dans les zones d'intervention pilotes à la fin des projets

ABP : Agro-Biodiversity Project ; AGPC : Association groupement des producteurs de café ; ASDSP : Association pour le soutien au développement des sociétés paysannes ; CCL : Comité de coopération avec le Laos ; Dalam : Department of Agricultural Land Management (dirigé par le MAF) ; GAA : Welthungerhilfe, German Agro Action ; GDA : Gender Development Association ; Nafri : National Agricultural and Forestry Office ; NCMI : National Community-Managed Irrigation network ; PADETC : Participatory Development Training Centre ; Profil : Promotion of Organic Farming and Marketing in Lao PDR ; Saeda : Sustainable Agriculture and Environment Development Association ; SDC : Swiss Agency for Development and Cooperation.

L'approche par les réseaux du projet Actae

Le projet Actae (Accompagner la transition agro-écologique en Asie du Sud-Est) est financé par l'AFD depuis 2015 et mis en œuvre par le Cirad et le Groupe de recherche et d'échange technologique (Gret) avec des partenaires nationaux et régionaux au Cambodge, Laos, Myanmar et Vietnam. Il appuie et valorise les initiatives des différents acteurs de l'agro-écologie : du producteur au consommateur, de la recherche, du développement, du politique, du secteur privé, de l'éducation et de la société civile, *via* leur mise en réseau. Le projet s'articule autour de deux composantes : l'une animée par le Cirad visant à renforcer le réseau Cansea (*Conservation Agriculture Network in South East Asia*) principalement axé sur la promotion de l'agriculture de conservation ; l'autre, animée par le Gret, visant à faire émerger une plateforme multi-acteurs régionale qui fédère les différents domaines de l'agro-écologie dans la région du Mékong, l'Agroecology Learning Alliance in South East Asia (Alisea).

Les activités du projet Actae incluent la production de connaissances dans

le domaine de l'agro-écologie *via* l'accompagnement et le cofinancement d'initiatives visant à encourager les collaborations multi-acteurs et la réalisation d'études thématiques, comme l'évaluation de pratiques agro-écologiques, la perception des consommateurs, et l'analyse des cadres institutionnels (Castella et Kibler, 2015b). La répartition et la mise en réseau d'expériences sont organisées au travers d'une plateforme d'échange de connaissances en ligne[11] et l'organisation d'ateliers thématiques multi-acteurs aux échelles nationales et régionales. Le troisième axe d'intervention concerne la promotion et la visibilité du mouvement agro-écologique auprès des décideurs politiques et des consommateurs *via* la mise en place d'outils de communication dédiés. Cette dernière action a pour but de préparer de futures actions conjointes de plaidoyer. Le réseau Alisea diffuse les résultats des nombreuses initiatives existantes dans la région Mékong à travers une *newsletter* trimestrielle, un portail Web, une présence sur les réseaux sociaux (Facebook, YouTube) et l'organisation d'ateliers d'échanges et d'événements promotionnels.

L'approche du projet Efficas privilégie une entrée territoriale et un changement d'échelle depuis la parcelle jusqu'au paysage villageois. Le projet Actae met en réseau, en résonance, les projets nationaux et les initiatives locales, et facilite ainsi les échanges d'expérience, la capitalisation et la diffusion des résultats aux échelles nationales et régionales. Il contribue ainsi à forger un plaidoyer pour l'agro-écologie auprès des décideurs afin d'argumenter un portage politique de la transition agro-écologique.

L'accompagnement de la transition agro-écologique

Les deux initiatives portées par Actae et Efficas interviennent de façon complémentaire sur huit leviers identifiés lors des études de faisabilité pour accompagner la transition agro-écologique au Laos (fig. 5.3).

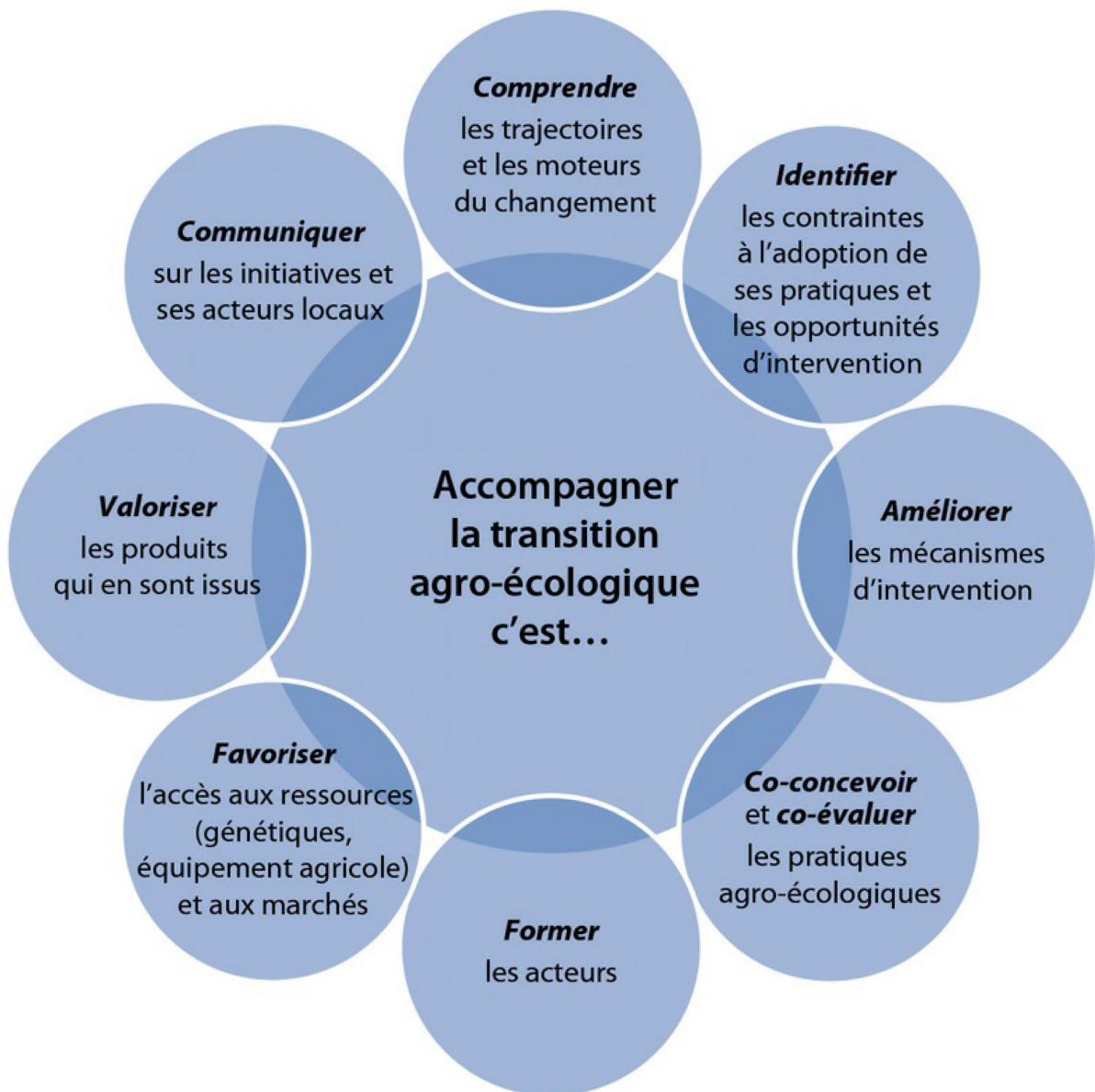


Figure 5.3. Leviers identifiés pour accompagner la transition agro-écologique au Laos.

Comprendre les trajectoires et les moteurs du changement

Des études ont été réalisées sur les dynamiques agraires de trois régions du Nord Laos engagées depuis plus de dix ans dans la production de maïs hybride pour l'export. L'analyse des changements d'usage des terres et des ressources naturelles montre (Lestrelin et Kiewvongphachan, 2017 ; Phaipasith, 2017) :

– un processus de déforestation lié à l'expansion des cultures de rente et à l'ouverture de routes rurales ;

- un réinvestissement des revenus des cultures commerciales (maïs) dans le terrassement de rizières, les activités extra-agricoles et l'éducation des enfants (stratégies de sortie de l'agriculture) ;
- une diversification des activités agricoles vers les cultures pérennes (fruitiers), l'élevage (pâturages améliorés) et, dans une moindre mesure, vers d'autres cultures annuelles (manioc, larme de job [*Coix lacryma-jobi*], canna) lorsque la rentabilité du maïs décline ;
- un rôle-moteur du secteur privé dans ces dynamiques, tant pour l'accès au marché (contrats de production), aux intrants (semences, pesticides), aux services (équipements agricoles) que pour le financement des investissements nécessaires à la production agricole (financement à crédit des routes secondaires permettant d'élargir les zones de production).

Identifier des « fenêtres » d'intervention

Les dynamiques de transformation de l'agriculture sont extrêmement rapides et sont spatialement diversifiées. L'enjeu de la conception de systèmes agro-écologiques innovants est d'intervenir au bon moment au bon endroit. L'identification de « fenêtres d'opportunités », c'est-à-dire de moments-clés d'intervention au cours des étapes successives d'intensification et de dégradation des terres agricoles, s'est avérée essentielle pour favoriser l'adoption des pratiques agro-écologiques.

Par exemple, nous avons montré qu'il existe deux fenêtres d'intervention pour la promotion de l'agriculture de conservation dans un contexte de *boom* de la culture du maïs hybride au Laos (Lestrelin et Castella, 2011 ; Castella *et al.*, 2016c). La première fenêtre correspond au stade initial de la transition agraire, lorsque les producteurs commencent à intégrer des cultures commerciales dans des systèmes de production encore majoritairement tournés vers l'autosuffisance alimentaire. La seconde se situe après le *boom* de la culture de rente, dans les zones engagées de longue date dans l'agriculture intensive et affectées par des problèmes importants de dégradation des terres. Les agriculteurs sont alors confrontés aux problèmes environnementaux induits par la monoculture de rente et plus ouverts à la diversification des pratiques et des systèmes de production. À l'inverse, les interventions techniques pendant la phase d'expansion-intensification de la culture commerciale ont de faibles chances de trouver un écho favorable auprès des producteurs en l'absence d'un cadre incitatif — ou coercitif — fort.

Améliorer les mécanismes d'intervention

L'adoption des pratiques agro-écologiques par les agriculteurs passe par leur pleine participation aux processus de planification et d'innovation (Castella *et al.*, 2016b ; Lienhard et Lestrelin, 2016). Les communautés villageoises sont ainsi impliquées dans la définition et la mise en œuvre d'un projet de territoire. L'exercice collectif aboutit à une vision partagée des paysages souhaités à moyen et long termes, qui est ensuite transformée en plan d'action avec des objectifs, des indicateurs de réalisation et des règles d'utilisation des ressources. Chaque année, les innovations agro-écologiques testées dans le cadre de ces plans d'action sont évaluées collectivement par les différents acteurs (agriculteurs, chercheurs, agents de vulgarisation, autorités locales, secteur privé associé). Les activités pour la campagne agricole à venir sont réajustées après discussion sur les raisons des succès et des échecs de l'année passée.

Les chercheurs et vulgarisateurs jouent un rôle de facilitation des négociations entre agriculteurs et commerçants pour nouer des partenariats contractuels plus équilibrés (par exemple café bio, soja transformé localement, laque végétale produite sur les tiges des pois d'Angole et valorisation de l'utilisation du pois dans les jachères améliorées). Les centres techniques agricoles sont aussi associés au processus d'innovation, à la production de matériel végétal et de références agronomiques (systèmes de cultures diversifiés, collections variétales) *via* des services d'appui technique et de formation aux producteurs.

Enfin, des systèmes de suivi-évaluation des performances à long terme des systèmes de production agro-écologique et de leurs impacts (qualité de vie des populations locales, services écosystémiques, résilience des systèmes agricoles aux changements climatiques) sont mis en place pour maintenir l'engagement sur le long terme de l'ensemble des acteurs de l'innovation, qui vont des populations locales jusqu'aux bailleurs de fonds.

Co-concevoir et co-évaluer les pratiques

Différentes innovations agro-écologiques sont co-conçues et testées avec les producteurs selon les priorités définies dans le plan d'action villageois. Elles concernent différents compartiments de l'espace villageois :

- un réarrangement des interactions entre agriculture et élevage, avec la

négociation d'enclosures pour mieux contrôler la divagation des ruminants et l'amélioration des systèmes d'élevage (systèmes fourragers, santé animale, l'amélioration de l'accès à l'eau et à la stabulation) ;

- l'appui à la protection et à l'intensification des bas-fonds (renforcement des berges, petit matériel d'irrigation, système de riziculture intensive, compost, diversification de contre-saison) ;
- la promotion de systèmes de cultures pluviaux diversifiés à base de légumineuses (pois d'Angole, soja, *Vigna* spp.) en lien avec les projets partenaires, les services de l'État et le secteur privé, pour l'intégration des légumineuses dans les régimes alimentaires locaux ;
- la conservation du matériel génétique ;
- le développement des filières (filière de production et de transformation locale du soja pour l'alimentation du bétail, filière de production et de commercialisation de laque à base de pois d'Angole) ;
- la promotion de systèmes agroforestiers (caféier, cardamome médicinale) en lien avec le secteur privé.

La performance des innovations est analysée avec l'ensemble de la communauté villageoise *via* la présentation annuelle des résultats obtenus par les agriculteurs et les techniciens impliqués (fig. 5.4).

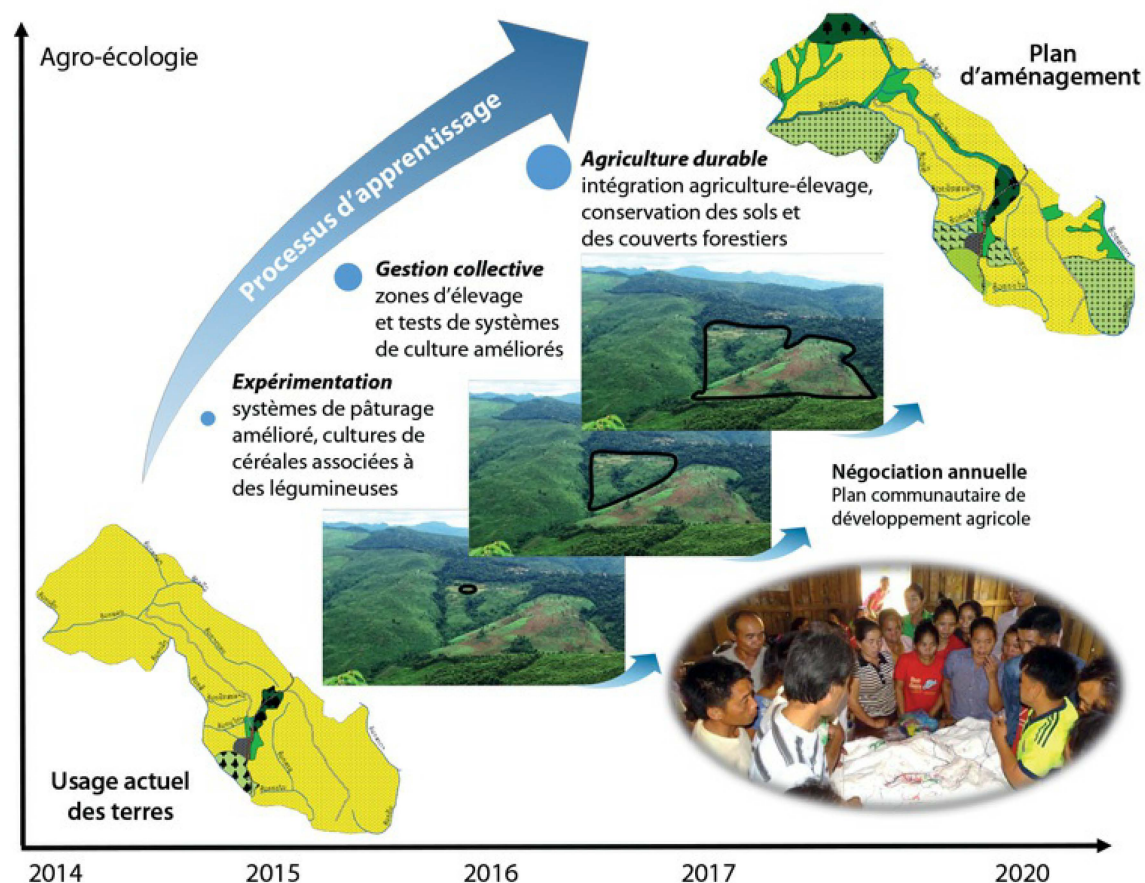


Figure 5.4. Exemple de trajectoire paysagère négociée (village de Pouthong, province de Luang Prabang).

L'impact du projet sur la résilience des communautés agricoles à des chocs externes est évalué *via* un dispositif de suivi qui combine des variables et indicateurs permettant de renseigner les trois composantes de la résilience identifiées : la vulnérabilité aux aléas climatiques et économiques, la capacité d'adaptation individuelle et collective, et les modes d'usage agricoles et non agricoles des ressources. Ces variables sont renseignées à différentes échelles spatiales : parcelle, exploitation, village, selon une double approche diachronique (évolution dans le temps des variables et indicateurs pour un village donné) et synchronique (comparaison entre villages à une date donnée).

Former les acteurs

Dans le cadre du projet Eficas, l'accent est mis sur la formation des acteurs locaux : agriculteurs et techniciens en charge de la vulgarisation agricole. Ceux-ci sont les principaux acteurs de la planification, de la mise en œuvre

et de l'évaluation des activités. Les formations techniques animées par des formateurs locaux (compost, technologies fourragères, système de riziculture intensive, laque végétale, etc.) permettent de valoriser les compétences existantes. Des jeux de rôle sont utilisés pour explorer des scénarii d'évolution des pratiques locales, discuter les questions de durabilité de l'agriculture, et identifier des alternatives techniques et organisationnelles (par exemple, le jeu Mahasaly [Ornetsmüller *et al.*, 2018], le jeu Eficas).

Par ailleurs, dans le cadre du projet Actae, l'accent est mis sur la sensibilisation du grand public (décideurs, consommateurs) et la formation académique, sur la base des expériences de terrain acquises par les projets de recherche-développement avec notamment :

- un appui à la réalisation de matériel pédagogique en agro-écologie pour les étudiants en licence et master (Cambodge, Laos) et les paysans (modules d'*e-learning* en khmer au Cambodge) ; au Laos, le travail collaboratif appuyé par le réseau Alisea entre les quatre principales universités (Nuol, Soupanouvong, Savannaket et Champasak) a produit quatre manuels de formation (agro-écologie, agroforesterie, agriculture biologique et agriculture intégrée) qui sont utilisés par les étudiants (Bachelor et Master, soit environ 200 à 250 étudiants par an) ;
- des formations aux jeux de simulation (Laos, Cambodge, Myanmar et Vietnam). Le nombre de formations réalisées reste à ce jour limité (seulement deux mise en œuvre) mais l'intérêt est grand auprès des premiers bénéficiaires ; certains partenaires valorisent cette approche et ces outils dans leurs activités de recherche et développement (par exemple l'ONG Cisdoma au Vietnam, le CASC au Cambodge, etc.) ;
- des formations à la réalisation de vidéos sur smartphone pour documenter les pratiques, les partager entre pairs et s'en servir comme support de communication et de formation. À ce jour, 42 personnes ont bénéficié de ces formations (paysans innovants, praticiens du développement, agents de vulgarisation) et près de 40 vidéos ont été produites et diffusées (YouTube, projections dans les villages) ; ces vidéos contribuent à renforcer la confiance en soi et la fierté des producteurs, et au partage d'expériences entre acteurs.

Favoriser l'accès aux ressources et aux marchés

Dans le cadre du projet Eficas, l'accès aux ressources et aux marchés est

- favorisé à travers la mise en réseau d'acteurs locaux et nationaux autour :
- de collections et de banques de semences villageoises pour faciliter la conservation et les échanges de ressources génétiques avec les centres techniques nationaux et les semenciers du secteur privé basés au Laos (par exemple la compagnie Lao Forage Seeds et son réseau de producteurs de semences fourragères) ;
 - de matériels agricoles testés dans les villages d'intervention (debroussailleuses, broyeuses de paille, clôtures électriques, etc.), disponibles sur les marchés locaux ou vendus par des entreprises basées au Laos ;
 - d'échanges entre groupements de producteurs et entreprises/commerçants locaux (café, soja, laque végétale).

Dans le cadre du projet Actae, des réseaux d'échanges régionaux sont organisés sur :

- les pratiques agricoles (production, conservation) et le matériel végétal entre centres techniques nationaux (Laos, Cambodge) et structures privées (par exemple, Echo Asia) ;
- les marchés, les filières régionales (Laos, Cambodge, Vietnam), sur les espèces négligées et sous-utilisées actuellement en agriculture mais précieuses pour la conception de systèmes de culture diversifiés ;
- les modèles pilotes d'organisation des producteurs (coopérative agricole pour la production et la commercialisation d'engrais naturels au Cambodge).

Valoriser les produits issus de l'agro-écologie

Dans le cadre d'Actae, et plus particulièrement du dispositif de petites subventions d'Alisea, plusieurs initiatives ont été soutenues pour tester et documenter les approches des systèmes participatifs de garanties (systèmes d'assurance-qualité ancrés localement). Ce mode de certification alternatif par les pairs (ne donnant pas lieu à un certificat papier) est particulièrement bien adapté pour les produits issus de l'agro-écologie visant le marché domestique (Georges et Ferrand, 2017). Il permet de recréer à faible coût des liens de confiance entre producteurs, consommateurs et autres acteurs des filières. Les actions en cours sont mises en œuvre par différents types d'acteurs (organisations de producteurs au Myanmar, secteur privé au Cambodge, ONG au Vietnam) et portent en grande majorité sur les produits maraîchers (Cambodge et

Vietnam) mais aussi sur le café et les fruits (Myanmar). L'objectif à terme est de synthétiser les différentes expériences (Alisea mais également FAO/Ifoam et ADB) en matière de système participatif de garantie au Laos et dans la région, afin de produire des recommandations à destination des pouvoirs publics.

Des études complémentaires sur la perception des consommateurs vis-à-vis des produits issus de l'agro-écologie sont en cours au Laos, au Myanmar et au Vietnam (Kousonsavath *et al.*, 2018). Ces études caractérisent la demande des consommateurs en la matière et permettent de formuler des recommandations à destination des pouvoirs publics pour accompagner l'augmentation de l'offre correspondante.

Communiquer sur les initiatives et sur les acteurs de l'agro-écologie

Le portail Web sur l'agro-écologie dans la région Mékong, plateforme de communication et de partage de connaissances du réseau Alisea[12], propose plus de 510 ressources en libre accès, dont 53 études de cas sur des innovations agro-écologiques (dont 15 au Laos) ; le site Web reçoit en moyenne 15 000 visites par mois ; la page Facebook en version anglaise[13] a 3 150 *followers* et est associée à des pages Facebook en langues nationales (lao, khmer, birmane et vietnamienne). La chaîne YouTube du réseau Alisea[14] propose 11 *playlists* et 48 vidéos. La lettre d'information du réseau (trimestrielle) compte plus de 1 200 abonnés (dans la région Mékong et au-delà) et est un outil de partage et de diffusion des réussites, des enseignements, des études de cas et des événements à venir en matière d'agro-écologie dans la région Mékong. Étant donné que la plupart de ces outils sont en langue anglaise, leurs utilisateurs principaux se trouvent chez les praticiens du développement ainsi que dans le monde universitaire et de la recherche ; c'est pourquoi, afin d'atteindre les producteurs eux-mêmes, une étude est en cours au Cambodge pour mieux connaître leurs moyens d'accès à l'information (canaux d'information, nature des informations recherchées...). Un recensement similaire a déjà été effectué au Myanmar où de nombreuses initiatives sont lancées pour fournir des informations techniques aux producteurs *via* des applications mobiles (Greenway, Golden Paddy...).

La vidéo étant le média privilégié par la plateforme Alisea pour

documenter les initiatives en agro-écologie, partager les témoignages des praticiens (agriculteurs, techniciens) et proposer des ressources pédagogiques, tous les coordinateurs des secrétariats nationaux ont été formés à la production de vidéos à partir de smartphones. L'objectif est de pouvoir documenter les initiatives financées dans le cadre du dispositif de petites subvention et d'autres actions agro-écologiques remarquables dans la région. À terme, les paysans innovants pourront documenter eux-mêmes leurs pratiques et mettre les vidéos en partage sur les réseaux sociaux.

Une consultation en ligne des utilisateurs du portail d'Alisea (112 réponses à cette consultation) indique que les deux services les plus appréciés sont l'accès aux études de cas et aux contenus de formation (manuels techniques) et de communication.

Sensibiliser le grand public aux enjeux

Les événements médiatiques organisés autour de l'agro-écologie ont touché un large public et aussi les décideurs politiques. Ainsi, dans le cadre du festival du film régional de Luang Prabang, le réseau Alisea a organisé un concours de courts-métrages sur le thème « Les jeunes et l'agro-écologie » qui a reçu plus de 20 contributions des cinq pays de la région Mékong. Les films retenus pour la compétition ont été mis en visionnage sur Facebook et ont reçu plus de 370 000 vues, atteint plus de 1,3 million de personnes et provoqué près de 20 000 réactions, commentaires et partages[15]. La projection des courts-métrages sélectionnés pour la compétition s'est accompagnée d'une foire aux produits agro-écologiques, d'une exposition de photos sur l'agro-écologie au Laos et d'un débat sur les modèles de production agricole et leurs impacts sur la nourriture que nous consommons[16]. Cet événement grand public s'est inscrit dans les actions visant à sensibiliser différentes catégories de personnes aux enjeux de l'agro-écologie au Laos et plus largement dans la région.

Les enquêtes de consommateurs réalisées au Vietnam et au Myanmar (étude de la Banque asiatique de développement ou ADB sur la perception vis-à-vis des produits de l'agro-écologie auprès de 1 300 consommateurs urbains) indiquent un besoin accru de campagnes de sensibilisation, d'événements grand public (festivals, foires...) pour promouvoir l'agro-écologie et accompagner le changement de pratiques (au niveau des

consommateurs) pour tirer la demande en produits agro-écologiques.

La question posée par la place des jeunes et de leur désintérêt relatif pour l'agriculture est réapparue dans les documents officiels du ministère de l'Agriculture et des Forêts, et des instances de réflexion ont été créées au plus haut niveau du gouvernement sur ce sujet (NIER, 2017). Au cours des réunions préparatoires à la Conférence sur l'avenir des zones de montagne du Laos organisée à Luang Prabang du 12 au 14 mars 2018, cette question est devenue transversale et a suscité la création de différents supports de communication (par exemple vidéos, posters, théâtre participatif, notes d'orientation).

Promouvoir le dialogue politique

Deux initiatives sont menées conjointement par les projets Eficac et Actae pour capitaliser les connaissances et alimenter la formulation des politiques publiques en matière de transition agro-écologique.

L'initiative Lao Uplands

Cette dynamique de capitalisation des connaissances initiée par le projet Eficac et ses partenaires[17] a permis :

- de réfléchir aux transformations agraires récentes des zones de montagne du Laos et aux impacts de ces dynamiques sur les populations locales ;
- de faire le point sur les principales leçons des interventions passées et en cours ;
- d'examiner les options politiques pour favoriser une croissance verte ;
- d'élaborer une feuille de route avec le ministère de l'Agriculture et des Forêts du Laos et les partenaires du développement rural vers les objectifs de développement durable.

Ce processus collectif a concerné la plupart des projets et institutions nationales qui s'intéressent à l'agro-écologie et a sensibilisé ceux qui n'utilisent pas ce concept mais se réfèrent aux mêmes principes. Un ouvrage collectif est en cours de réalisation.

L'initiative Lica (Lao Initiative on Conservation agriculture and

Agroecology)

L'objectif de cette initiative portée par le Laos auprès des ministres de l'Agriculture de l'Asean est de définir une position commune au sein des pays membres de l'Asean en matière d'agro-écologie.

Il s'agit de s'accorder sur :

- une définition commune de la transition agro-écologique ;
- des mécanismes institutionnels souples et peu coûteux pour mobiliser et renforcer l'expertise existante en matière d'agro-écologie dans la région Asean ;
- des outils pour favoriser les initiatives et politiques intersectorielles (dans les domaines de la communication et de l'éducation, de l'agriculture et de la transformation des produits agricoles, des mécanismes financiers et commerciaux, du marketing et de la labélisation des produits issus de l'agro-écologie...) fondées sur des partenariats entre secteurs public et privé, producteurs et consommateurs.

Enfin, afin de faciliter l'appropriation par tous, cette initiative soutient les approches de vulgarisation notamment sur quatre dimensions : l'agro-écologie, l'agro-entrepreneuriat, les approches participatives et territoriales.

Deux approches d'accompagnement : quelles leçons ?

Les deux approches décrites dans cet article sont destinées à favoriser la transition agro-écologique au Laos. Elles sont clairement complémentaires mais présentent néanmoins chacune des limites dans leur mise en œuvre et leurs impacts à moyen terme.

Dans le cadre du projet Efficas, l'approche paysagère et participative promue est complexe à mettre en œuvre dans les conditions socioéconomiques des minorités ethniques du nord Laos et les intérêts potentiellement contradictoires entre gouvernement et communautés agricoles (appui aux investissements étrangers *via* l'attribution de concessions agricoles *vs* soutien à une agriculture familiale). Cette approche est d'autant plus complexe à mettre en œuvre qu'elle s'appuie largement sur des compétences en facilitation, à laquelle les agents de

vulgarisation ne sont pas encore formés pour la plupart. Elle reste néanmoins le meilleur moyen de renforcer les compétences, les capacités de décision et de gestion des agents de vulgarisation et des communautés agricoles concernées.

Dans le cadre du projet Actae, les coûts de transaction d'une animation régionale sont importants et posent la question de la durabilité financière et de la gouvernance de tels outils au-delà des financements projet.

Les ressources mobilisées pour jouer sur les différents leviers de la transition (fig. 5.3) et la durée actuelle des interventions (trois ans) restent largement insuffisantes par rapport aux enjeux.

Au Laos, la transition agro-écologique correspond encore à ce jour à une somme d'initiatives dont l'impact reste encore difficilement mesurable. Pour engager une véritable transition, il est nécessaire de poursuivre les activités engagées aux différents niveaux d'intervention en privilégiant les objectifs suivants.

Une approche territoriale

La planification participative de la gestion des terres, la promotion de pratiques agro-écologiques innovantes et la négociation de règles liées à l'utilisation des ressources et à la commercialisation de produits agricoles doivent être combinées dans un cadre commun afin de surmonter les problèmes rencontrés par chacune de ces approches lorsqu'elles sont mises en œuvre indépendamment les unes des autres. Par exemple, la promotion de systèmes de culture plus diversifiés, intégrant des cultures en relais des cultures principales, a plus de chance de succès si elle inclut une négociation au niveau du village pour un meilleur contrôle de la divagation des animaux (Castella *et al.*, 2016a).

Des boucles d'apprentissage dans un processus collectif d'ingénierie

Il n'existe pas de trajectoire linéaire de développement. Les plans de développement villageois doivent être renégociés régulièrement (dans l'idéal annuellement) par l'ensemble de la communauté pour s'adapter :

- aux évènements imprévisibles (aléas climatiques, attaques de ravageurs ou opportunités de marché) ;
- aux comportements déviants par rapport aux plans initiaux (par exemple ouverture de parcelles cultivées sur des zones forestières protégées, dégâts sur les cultures liés à la divagation d'animaux domestiques malgré l'adoption de règles collectives, etc.) ;
- à l'évolution des politiques locales (promotion, par exemple, de l'élevage caprin, des plantations de caféiers ou d'hévéa, par les autorités locales).

Des paysages agricoles diversifiés et multifonctionnels

Un paysage diversifié est plus résilient aux chocs externes qu'un paysage uniforme : la capacité de l'ensemble du système de production à résister ou à se remettre de chocs, économiques ou climatiques, est renforcée par la diversité des activités agricoles, l'application de pratiques agro-écologiques et la diversification des activités génératrices de revenus.

La diversification des paysages et des revenus passe par :

- une révision des indicateurs utilisés pour évaluer les performances agronomiques (performance mesurée actuellement sur des critères purement économiques : surface × production × valeur unitaire de la production), afin d'inclure les services écosystémiques (par exemple biodiversité, qualité de vie) dans les objectifs de production agricole ;
- des politiques favorisant la reconnaissance, la préservation et l'accès à du matériel génétique diversifié au travers de mécanismes impliquant les communautés agricoles, les services de l'État et le secteur privé ;
- l'apport de subventions, la défiscalisation des équipements et intrants agricoles favorables à la diversification des pratiques agricoles (par exemple semoirs à semis direct, inoculant pour légumineuses, outils de contrôle biologique des ravageurs).

Renforcer les capacités des agents de vulgarisation

Dans le cadre de la transition agro-écologique, les agents de vulgarisation sont amenés à jouer un rôle de facilitateurs des processus d'innovation et de négociation entre acteurs. L'utilisation de jeux de simulation permet de mieux accompagner les acteurs dans la création participative de scénarii

agro-écologiques puis dans l'évaluation et la mise en œuvre de ces transformations. Les agents de vulgarisation deviendront des interlocuteurs importants du secteur privé dans l'essor de filières agro-écologiques et la production de services écosystémiques : accroître l'entrepreneuriat social, les programmes de formation professionnelle financés par le secteur privé, avec un focus particulier sur la formation et l'accompagnement des jeunes agriculteurs. Il s'agira donc d'investir dans la création de matériels pédagogiques destinés à différents publics (paysans, vulgarisateurs, étudiants), en ayant recours aux nouvelles technologies (*e-learning*, applications sur smartphones).

Créer un environnement institutionnel favorable

Innover, c'est risquer. S'engager dans l'agro-écologie induit une prise de risque importante pour les acteurs impliqués, par rapport à des retours futurs qui restent hypothétiques. Il est nécessaire d'appuyer les agriculteurs et les commerçants vis-à-vis des incertitudes et des risques *via* des mécanismes originaux de financement, d'incitation, d'assurance (fig. 5.5).

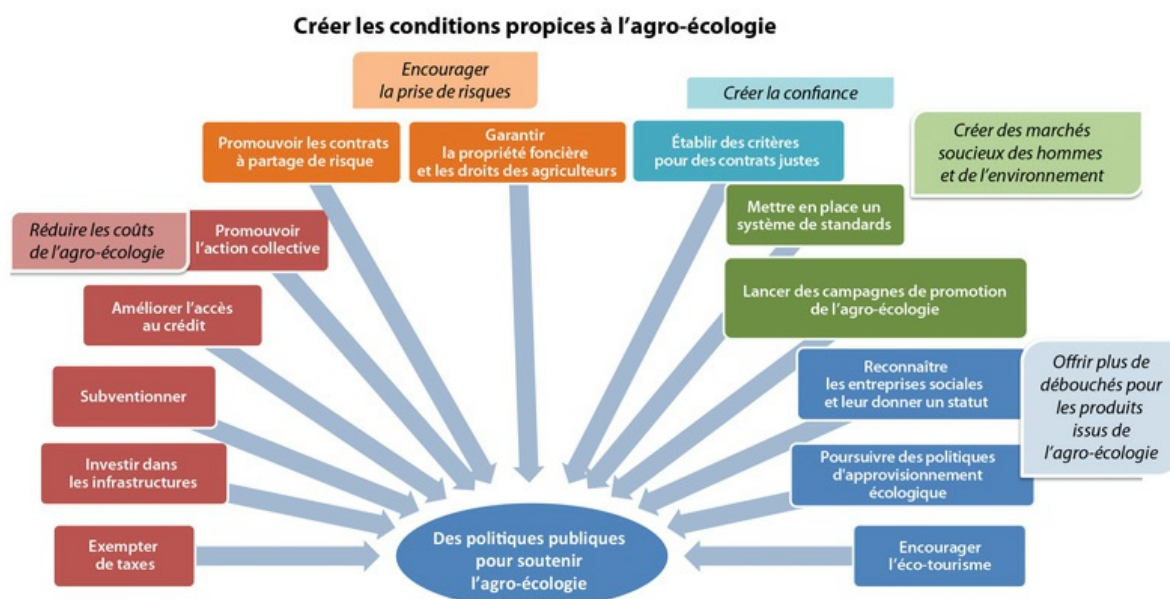


Figure 5.5. Un environnement institutionnel favorable à la transition agro-écologique.


Enfin, il est essentiel de sensibiliser les consommateurs sur les bénéfices (sanitaires, environnementaux et économiques) de consommer des produits issus de l'agro-écologie car ce sont bien eux qui accéléreront et financeront la transition agro-écologique, une fois que le processus aura

atteint son point de basculement et que l'agro-écologie s'imposera comme un élément central du développement durable. Pour ce faire, il faudra dans un premier temps créer des modes de certification et de valorisation de ces produits, adaptés au contexte lao (type système participatif de garantie). Un préalable important — nécessaire mais pas suffisant — à la mise en place de tels mécanismes de financement est un message politique fort en faveur de l'agro-écologie.

Seule la mise en œuvre d'un ensemble de mesures coordonnées de grande ampleur, vers les agriculteurs, les services de vulgarisation agricole, le secteur privé, les consommateurs et les décideurs, permettra d'atteindre les objectifs que nous avons évoqués à une échelle suffisante pour entraîner le basculement espéré au Laos vers l'agro-écologie.

Références

Castella J.C., Lienhard P., Phimmasone S., Chaivanhna S., Lestrelin G., Khamxaykhay C., 2016a. Life after PLUP: A landscape approach to agroecology for sustainable land uses and livelihoods. LIWG Study Session on Land Use Planning - Learning House for development, 5 octobre 2016, Vientiane, Lao PDR.

Castella J.C., Lienhard P., Phimmasone S., Chaivanhna S., Lestrelin G., Khamxaykhay C., 2016b. Transformative approaches to agroecology at the landscape level. Communication to the 1st National multi-stakeholder workshop on Agroecological Transition in Laos, 2-3 juin 2016, Vientiane, https://www.eficas-laos.net/content/download/4483/33204/version/1/file/EFICAS_village-transformation.pdf .

Castella J.C., Ornetsmüller C., Lestrelin G., Verburg P., Lienhard P., 2016c. Mitigating the negative impacts of the maize boom on landscapes and livelihoods in Laos. In : *AC and SD 2016 Agri-Chains and Sustainable Development: Linking local and global dynamics*, Cirad, Montpellier, 10-12.

Castella J.C., Phimmasone S., 2017. Transitioning to agroecology: An avenue to buffer the shocks from market integration and climate change in Lao Uplands, note d'orientation, Eficas, Vientiane (Lao PDR).

Castella J.C., Kibler J.F., 2015a. Actors and networks of agroecology in the greater Mekong subregion, note technique 6, AFD, Paris, 39 p.

Castella J.C., Kibler J.F., 2015b. Towards an agroecological transition in Southeast Asia: Cultivating diversity and developing synergies, GRET, Nogent-sur-Marne, 92 p.

Georges C., Ferrand P., 2017. Enabling a bottom-up approach in a top-down environment: A case study on Participatory Guarantee System (PGS) facilitation in Huaphanh Province, Lao PDR. *In : The 6th Biennial ECHO Asia Agriculture and Community Development Conference*, ECHO Asia Regional Impact Center, Chiang Mai, Lao PDR, 37-40 (ECHO Asia Notes, 34).

Kousonsavath C., Vagneron I., Xiong M., 2018. Boosting the demand for organic products: The role of consumer trust and product availability, note d'orientation, Malica Network, Vientiane, Lao PDR.

Lestrelin G., 2015. Update study on agrarian changes and the status of Conservation Agriculture in southern Sayaboury Province, Efficas NUDD/CA, Vientiane, 36 p.


Lestrelin G., Castella J.C., 2011. Opportunities and challenges for the adoption of conservation agriculture in maize production areas of Laos. *In : Resilient food systems for a changing world. Proceedings of the 5th World Congress on Conservation Agriculture*, WCCA/FSD, Brisbane, Australie, 42-44.

Lestrelin G., Kiewvongphachan X., 2017. A decade of livelihood and land use changes in maize production areas of sayaboury and xieng khouang provinces: Implications for the agroecological transition, Efficas NUDD/CA, Vientiane, Lao PDR, 19 p.

Lienhard P., Boulakia S., Gilard O., Séguy L., 2014. Conservation agriculture in south-east Asia. *In : Conservation Agriculture: Global prospects and challenges* (A. Ram, A. Jat, L. Kanwar, A. Sahrawat, H. Kassam, eds), CABI, Wallingford, Royaume-Uni, 180-201.

Lienhard P., Lestrelin G., 2016. Combining technical, organizational, and value-chain approaches for sustainable land management and agricultural development in Kham basin, Xieng Khouang Province, PAFO-LURAS-

TABI multi-stakeholder meeting, Kham district, 11 mars 2016.

Ornetsmüller C., Castella J.C., Verburg P.H., 2018. A multi-scale gaming approach to understand farmer's decision-making in the boom of maize cultivation in Laos. *Ecology & Society*, 23 (2), 35, <https://doi.org/10.5751/ES-10104-230235> .

Phaipasith S., 2017. Expansion of road networks in upland production areas: Impacts on landscapes and livelihoods in Huaphan Province, rapport, Hohai University.

Tivet F., Lienhard P., Chaivanhna S., Koy R., 2017. Soil carbon is what we need! Investing in soils to sustain agriculture in South East Asia, note d'orientation, CANSEA, Vientiane, Lao PDR.

CHAPITRE 6

La transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises

Jean-Michel Risède, Raphaël Achard, Pierre Brat, Christian Chabrier, Gaëlle Damour, Claire Guillermet, Luc de Lapeyre, Denis Lœillet, Steewy Lakhia, Paul Meynard, Philippe Tixier, Hoa Tran Quoc, Frédéric Salmon, François-Xavier Côte, Marc Dorel

La banane Cavendish (dite « banane dessert » par opposition aux « bananes à cuire ») est produite en Martinique et en Guadeloupe sur environ 7 000 hectares. Elle a représenté ces dernières années un volume annuel de fruits commercialisés de 320 000 tonnes (Imbert et Lœillet, 2017). Cette production est une activité majeure de l'économie antillaise, qui occupe directement plus de 6 000 personnes et représente près de 10 000 emplois indirects et induits, pour l'ensemble de la filière Banane des deux îles (étude Global Footprint). La filière s'est restructurée depuis

une dizaine d'années, après une grave crise de compétitivité qui a culminé au début des années 2000. Cela s'est notamment traduit par la création de l'UGPBAN (Union des producteurs de bananes de Guadeloupe et de Martinique) pour prendre en charge la stratégie globale de développement de la filière et de la commercialisation de sa production. Aux Antilles, cette production reste, quoi qu'il en soit, soumise à un cadre de contraintes très fort, compte tenu de la concurrence exacerbée sur le marché mondial et de ses coûts importants. Ceux-ci sont liés notamment à des prestations salariales beaucoup plus élevées que dans les autres zones de production, à une réglementation européenne exigeante en matière de normes, à des aléas climatiques (cyclones) récurrents. Les attentes sociétales sont par ailleurs fortes sur le plan de la protection de l'environnement comme de la santé, dans un contexte d'urbanisation croissante. Ce cadre impose à la filière une démarche d'innovation permanente pour améliorer sa compétitivité, mais aussi sa durabilité environnementale et sociale.

Les modes conventionnels de production de la banane Cavendish font débat du fait des dégradations physiques, chimiques et biologiques, et des pollutions non intentionnelles qu'ils peuvent occasionner dans les milieux cultivés ou naturels (Risède et Tezenas du Montcel, 1998). Hautement productive en conditions de sols ou sanitaires non limitantes, la banane Cavendish, qui représente un seul clone englobant un ensemble de cultivars proches sur le plan génétique, est en effet exigeante sur le plan de l'alimentation hydrique et minérale, et sensible à plusieurs bioagresseurs d'origine aérienne ou tellurique. Or pendant plusieurs décennies, ceux-ci ont fait l'objet d'une gestion marquée, dans beaucoup de régions du monde et y compris aux Antilles françaises, par un recours chronique aux pesticides chimiques dérivés de l'énergie fossile, auxquels s'ajoutait une fertilisation basée sur des apports d'engrais de synthèse ; ces systèmes intensifs de culture ont donc engendré des impacts environnementaux et sanitaires négatifs.

C'est ainsi qu'à partir de la fin des années 1990 et du début des années 2000, la pollution durable à la chlordécone (insecticide organochloré utilisé aux Antilles jusqu'en 1993 pour lutter contre le charançon du bananier, un insecte qui en fore le rhizome) a été révélée et fortement médiatisée, avec à la clé une crise sanitaire sans précédent à la Martinique et à la Guadeloupe (Cabidoche *et al.*, 2009). Cette pollution a eu pour effet la fixation durable de la chlordécone dans les sols et les milieux aquatiques, la contamination des populations locales et de certains produits

agricoles végétaux ou animaux. Cette crise a été déterminante dans la façon dont s'est posée, au niveau de tous les acteurs de la filière (recherche, producteurs, décideurs publics, société civile), la question des modes de production de la banane Cavendish aux Antilles françaises, milieu insulaire riche en biodiversité, où espaces agricoles et zones d'habitat se mêlent étroitement.

C'est en réponse à ce contexte économique et environnemental particulier qu'a été lancé en 2007 aux Antilles le plan « Banane durable » qui visait à améliorer conjointement la durabilité économique, environnementale et sociale des productions de bananes. L'objet de ce chapitre est de traiter de la composante environnementale de ce plan et de faire le point sur la transition agro-écologique dans les systèmes de culture antillais qui lui sont liés. On identifiera pour cela les déterminants de cette transition, les modalités techniques ou organisationnelles selon lesquelles elle s'est opérée, les pratiques attenantes qui ont été développées en milieu réel, et les cadres d'intervention multi-acteurs dans lesquels elle a pris corps. Enfin, les leçons à tirer de cette transition agro-écologique seront présentées avec un regard prospectif.

Les déterminants de la transition agro-écologique

Quatre grands types de facteurs ont pesé simultanément dans l'amorce de la transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises.

Les conséquences d'une monoculture fortement intensifiée et consommatrice de pesticides

Sur la période allant de la fin des années 1980 au début des années 2000, de fortes baisses de productivité ont affecté les systèmes monoculturaux intensifs de bananes (Delvaux et *al.*, 1990 ; Dorel et Perrier, 1990). Soumis à des problèmes récurrents de dégradation de fertilité et de « fatigue » des sols, provoqués par une augmentation incontrôlée du parasitisme tellurique, ces systèmes sont progressivement devenus moins performants. Ils étaient notamment affectés par un complexe de bioagresseurs incluant des communautés plurispécifiques de nématodes endoparasites, et un

champignon du sol inducteur de nécroses racinaires dont l'importance était renforcée par les dégâts de ces nématodes phytoparasites (Risède et Simoneau, 2004). L'utilisation répétée de nématicides chimiques, appartenant à la famille des carbamates ou des organophosphorés, ne suffisait plus à enrayer les effets des perturbations hydrominérales provoquées par ces bioagresseurs telluriques, ni la verse des plants affectés par l'altération et la nécrose de leur système racinaire. De manière similaire, les dégâts dus au charançon foreur du rhizome *Cosmopolites sordidus* et les populations de ce dernier étaient de plus en plus difficilement maîtrisés. En parallèle, des résistances aux fongicides benzimidazoles utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée contre la cercosporiose jaune des bananiers, causée par le champignon *Mycosphaerella musicola*, se développaient, réduisant la diversité des molécules fongicides utilisables pour contrôler cette maladie foliaire. Au final, c'est bien le modèle de production qui, dans son ensemble, s'essouffait dans un cadre de contraintes biologiques exacerbées, générant des pertes de rendement et des impasses techniques. La nécessité d'un changement de paradigme se faisait alors grandissante.

Une demande sociétale croissante pour des modes de production plus durables

Déjà pointé à la fin des années 1970 et au début des années 1980 (Snegaroff, 1977 ; Kermarrec, 1980), le risque de crise sanitaire et environnementale lié à la chlordécone s'est matérialisé et a fortement été médiatisé à partir de la fin des années 1990 et du début des années 2000. Ce polluant organique persistant a été détecté dans plusieurs captages d'eau potable en 1999, puis dans des tubercules alimentaires (ignames, taros...), ainsi que dans d'autres produits agricoles et dans des organismes aquatiques en 2002. Les contaminations engendrées ont marqué les esprits des populations locales, des producteurs, des pouvoirs publics et des décideurs. Une plus grande attention a *de facto* été accordée aux préoccupations environnementales et sanitaires, ce qui a notamment ouvert la voie au déploiement de solutions alternatives dans la lutte contre le charançon du bananier, et d'autre part a provoqué la mise en œuvre de mesures de réduction de l'exposition des populations à ce polluant. L'État a ainsi procédé au lancement d'une série de plans (plans nationaux d'action chlordécone) destinés à mieux connaître les milieux impactés, et à chercher comment mieux gérer le risque (ARS et Ireps, 2016).

Une recherche agronomique déjà impliquée dans le développement de systèmes de culture raisonnée

Dès la fin des années 1980, avec un renforcement dans les années 1990 et à l'orée des années 2000, la recherche agronomique française sur bananiers (Cirad), déjà très présente aux Antilles françaises, s'était engagée dans une démarche volontariste et anticipatrice destinée à élaborer des référentiels et des paquets techniques raisonnés à l'intention des producteurs. Ces paquets techniques étaient basés sur le raisonnement des pratiques pour limiter le recours systématique aux produits phytosanitaires ou aux engrais minéraux et ainsi en atténuer les impacts environnementaux. C'est ainsi que la recherche a mis au point un référentiel sol-plante pour le pilotage de la fertilisation minérale à partir d'analyses de sol, et une méthode de diagnostic foliaire qui a été utilisée dès la fin des années 1980. L'avertissement biologique contre la cercosporiose jaune issu des travaux du Cirad était également à cette période déjà largement pratiqué et permettait de réduire les impacts des fongicides utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée contre cette maladie, en limitant le nombre et la quantité de matières actives fongicides à l'hectare (1 kg/ha/an aux Antilles contre 30 à 70 kg/ha/an dans d'autres zones du monde). Le principe de coupler l'assainissement des sols vis-à-vis des nématodes phytoparasites avec l'utilisation de vitroplants sains pour s'affranchir des nématicides avait lui aussi été développé, même si en pratique la majorité des producteurs ne s'était pas encore approprié cet itinéraire technique. De même, des méthodes de diagnostic de l'état des systèmes de culture bananiers étaient au point, ainsi que des méthodes de quantification des populations de bioagresseurs telluriques (nématodes phytoparasites, charançon) ou d'estimation de leurs dommages (cas du charançon). Enfin, la recherche avait également exploré des solutions afin de s'affranchir des fongicides post-récolte employés pour lutter contre les maladies de conservation (anthracnose et pourritures de couronnes). En marketing, il existe des stratégies dites *push* et *pull* qui définissent la façon dont se construisent les innovations. Dans les stratégies *push*, c'est l'invention ou l'innovation qui sont déclenchées par l'offre. À l'inverse, dans les stratégies *pull*, elles sont provoquées par la demande. C'est principalement une stratégie *push* de l'offre de recherche qui était dominante jusque dans les années 2000. Elle s'est traduite par le développement d'un ensemble d'approches diagnostiques, prophylactiques ou raisonnées, qui ne faisaient pas encore pour autant l'objet d'une application coordonnée et intégrée, ou d'une adoption généralisée par les

producteurs.

Un environnement institutionnel favorable à la réduction de l'utilisation des pesticides, et un plan d'innovation ambitieux

Au début des années 2000, les préoccupations environnementales et de développement durable étaient particulièrement fortes au niveau institutionnel en France. 2007 fut ainsi l'année des accords du Grenelle de l'environnement, qui visaient une mobilisation nationale sur le long terme pour l'aménagement et le développement durables. 2008 fut l'année de lancement du plan Écophyto 1 visant à réduire en dix ans de 50 % l'utilisation des pesticides. En toile de fond, depuis plusieurs années, la réglementation française sur les matières actives était devenue de plus en plus drastique, ce qui s'était traduit par le retrait progressif et l'interdiction d'utilisation de nombreuses molécules dont, notamment en bananeraies, plusieurs insecticides et nématicides de synthèse.

Cette tendance allait être renforcée par la suite, à l'échelle européenne, par le règlement (CE) n° 1107/2009 du 21 octobre 2009 qui concerne la mise sur le marché des produits phytosanitaires, en reprecise les modalités d'évaluation et d'autorisation, et décline les critères d'exclusion des substances classées comme particulièrement dangereuses pour la santé humaine et l'environnement.

C'est dans ce contexte qu'un ambitieux plan d'innovations, le plan « Banane durable », a vu le jour à l'initiative concertée de la recherche Cirad, de la filière Banane de Guadeloupe et de Martinique (BGM) dans ses différentes composantes (Union générale des producteurs de bananes de Martinique et de Guadeloupe, Groupements de producteurs de Guadeloupe et de Martinique, Producteurs de bananes de Guadeloupe ou LPG, producteurs de bananes de Martinique ou BanaMart), des Régions de Martinique et de Guadeloupe, des services déconcentrés de l'État (direction de l'Agriculture et de la Forêt), des ministères (dont le ministère de l'Agriculture) et de l'Odeadom (Office de développement de l'économie agricole d'Outre-Mer). Ce plan s'articulait autour d'un double objectif. Sur le plan économique, il visait d'une part à décliner et à mettre en œuvre les conditions pour maintenir à la fois un niveau de production élevé et l'emploi. Pour cela, il ciblait des actions pour améliorer et

moderniser les exploitations bananières et leurs infrastructures attenantes, et des actions pour valoriser et diversifier la filière, en encadrant et en formant les acteurs. Sur le plan environnemental, il visait le développement aux Antilles françaises d'un mode de production alternatif basé sur les concepts de l'agro-écologie. Le plan « Banane durable » a ainsi été le principal moteur de la construction d'une trajectoire d'innovations pour la transition agro-écologique dans les systèmes bananiers des Antilles françaises.

Les pratiques agro-écologiques mises en œuvre sur le terrain

Le passage à des systèmes diversifiés valorisant les plantes de service

Plusieurs pratiques ont permis d'asseoir le lancement de la transition agro-écologique des modes de production de bananes aux Antilles. Ce sont essentiellement des pratiques de prophylaxie culturale, de contrôle biologique ou mécanique des bioagresseurs, de surveillance de ces bioagresseurs à des fins de gestion raisonnée, et aussi de réinjection de biodiversité fonctionnelle dans les systèmes de culture pour y renforcer la fourniture de services écosystémiques. Ces pratiques croisent ainsi des modes de gestion des cultures et des sols et le déploiement d'une biodiversité fonctionnelle dans les systèmes de culture. Sans visée d'exhaustivité, le tableau 6.1 les recense en fonction des objectifs initiaux qui leur étaient assignés.

Développées dans un cadre d'innovation partenariale dans lequel chercheurs, techniciens et producteurs interagissaient, ces pratiques ont d'abord reposé sur des « briques » techniques, plus ou moins spécifiques, qui ont par la suite été agrégées à la lumière des retours d'expériences des différents acteurs impliqués : c'est dans une démarche de co-conception participative des systèmes de culture que s'est développée la transition agro-écologique. Celle-ci ne s'est pas effectuée de manière linéaire au fil de plusieurs étapes successives, mais plutôt par la coexistence de différentes stratégies dans lesquelles la prophylaxie vis-à-vis des nématodes phytoparasites s'est progressivement imposée comme un fil rouge. Les couverts ont d'abord été monospécifiques, c'est-à-dire qu'ils

n'ont employé qu'une seule espèce de plante de service à la fois. Cette espèce (qui pouvait être par exemple *Brachiaria decumbens*, *Neonotonia wightii* ou *Crotalaria* spp.) a dans un premier temps été utilisée en rotation avec la culture bananière. Les couverts assuraient alors l'assainissement nématologique des sols (nématodes parasites du bananier) en s'affranchissant de la jachère spontanée qui comptait des espèces d'adventices hôtes de ces mêmes nématodes. Mais ils contribuaient également à restaurer la fertilité globale des parcelles. Progressivement, ces jachères assainissantes et améliorées allaient remplacer les jachères spontanées. En parallèle, des rotations plus classiques (banane-ananas, et surtout banane - canne à sucre) étaient pratiquées. Puis les couverts végétaux à base de plantes de service ont commencé à être associés aux bananiers, et très vite ce sont des couverts multi-espèces, basés sur un ensemble de plantes de service agencées dans le temps et dans l'espace, qui ont été développés (photo 6.1). De cette façon, un ensemble de services complémentaires pouvaient être simultanément recherchés comme les régulations biologiques de bioagresseurs, la production de biomasse, la réduction de l'érosion, le recyclage d'éléments nutritifs, l'amélioration de l'état structural du sol, ou encore la séquestration du carbone ou la fixation de l'azote atmosphérique.



Photo 6.1. Couvert multi-espèce (*Arachis repens* et *Desmodium ovalifolium*) associé à la banane Cavendish. © Hoa Tran Quoc / Cirad.

Tableau 6.1. Types de pratiques mises en œuvre lors de la transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes aux Antilles françaises

	Objectifs			
Pratiques	Gestion des nématodes phytoparasites	Gestion des charançons	Gestion des cercosporioses	Gestion des adventices
	Destruction des anciennes bananeraies, initialement par voie chimique (herbicides) puis par retour à la destruction mécanique, ou pour les petits exploitants par pâturage de bovins. Élimination mécanique systématique des repousses de bananiers, sources potentielles de contamination (nématodes phytoparasites et charançons).		Élimination rapide des bananeraies abandonnées, sources d'inoculum contaminant. Effeuillement sanitaire par	Installation et maintenance des systèmes de culture bananière

	<p>Couplage de jachères et de rotations culturales assainissantes à base de plantes de service non hôtes des nématodes endoparasites de la famille des Pratylenchidae (surtout <i>Radopholus similis</i>), avec utilisation de vitroplants sains de bananiers. Fossés d'isolation hydraulique des parcelles assainies.</p>		<p>ablation mécanique des feuilles ou portions de feuilles porteuses de lésions nécrotiques contaminantes.</p>	<p>couver végétation plante service limiter contact des parcelles par les adventifs</p>
	<p>Chez les pépiniéristes fournisseurs de vitroplants sevrés, pose de filtres de 30 µm de maille pour limiter les contaminations des eaux d'irrigation des serres par les nématodes phytoparasites de la famille des Pratylenchidae.</p>		<p>Cette pratique limite la dispersion du champignon causal et la maturation précoce des régimes qu'il provoque. Elle s'intègre plus largement à une stratégie de protection intégrée contre les cercosporioses et qui inclut : des pratiques culturales favorisant un rythme élevé d'émission foliaire pour compenser la perte de surface foliaire due à la maladie ; un système d'avertissement biologique pour limiter les traitements fongicides.</p>	<p>certaines hôtes nématodes phytoparasites des bananiers. Ces plantes service en contact avec les adventifs leur couverture rapide sol et les effets allélopathiques. Installation système culture bananier lières résidus couvrir plante service mulch divers verts, bagasse</p>
		<p>Lors de la destruction</p>		

<p>Contrôle biologique</p>	<p>Déploiement au champ de couvertures végétales à base de crotalaires (principalement <i>Crotalaria retusa</i>, <i>C. spectabilis</i>, <i>C. zanzibarica</i>, <i>C. juncea</i>) aux propriétés nématotoxiques.</p>	<p>des parcelles, piégeage de masse à l'aide de pièges à fosses couplés à une phéromone d'agrégation (sordidine). Disposition des pièges en ceinture des nouvelles parcelles plantées pour prévenir des recontaminations externes. En cours de culture bananière, piégeages de masse à l'aide de pièges à phéromone.</p>		
<p>Réinjection de biodiversité fonctionnelle dans les systèmes de culture bananiers</p>	<p>Développement de couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service, pour la plupart non hôtes des principaux nématodes parasites du bananier. Leurs modalités d'installation et de gestion a été précisée. Certaines (comme <i>Paspalum notatum</i>) favorisent les régulations biologiques et améliorent la structure des réseaux trophiques du sol.</p>	<p>Culture de certaines plantes de service (comme l'association <i>Brachiaria decumbens</i> + <i>Cynodon dactylon</i>) pour augmenter l'abondance de certains prédateurs généralistes du charançon (fourmis, perce-oreilles...) et la régulation biologique de celui-ci.</p>		

Contrôle mécanique				Contrôle adventif débroussaillage ou par gyrobroyage à l'aide de tracteurs équipés de basses
Surveillance des populations de bioagresseurs	Tests biologiques de suivi de la qualité d'assainissement nématologique des sols d'interculture. Dynamiques intra-racinaires des populations de nématodes phytoparasites. Chez les pépiniéristes fournisseurs de vitroplants, vérification régulière de la qualité sanitaire des plants fournis par analyse nématologique.	Surveillance des populations à l'aide de pièges à sordidine (partenariats privés, Inra, Cirad). Surveillance des dégâts par décortilage du rhizome.	Mise en place d'un observatoire régional de la surveillance de la sensibilité aux fongicides systémiques utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée contre les cercosporioses jaune et noire.	

Une démarche de conception de systèmes bananiers à base de plantes de service

La mise en place de ces systèmes bananiers à base de couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service a nécessité plusieurs générations de prototypes de systèmes de culture innovants, élaborés pour la plupart dans le cadre participatif et multi-partenarial du plan « Banane durable ». La démarche globale s'est appuyée sur de la co-conception de

novo avec la production de systèmes entrant en rupture avec les systèmes conventionnels, et de prototypage à dire d'experts. Une étape importante a consisté à développer une ingénierie de l'installation des couverts végétaux à base de plantes de service, préalablement à la conception de tout prototype de systèmes de culture. Des boucles d'amélioration issues des retours d'expériences des différentes catégories d'acteurs impliqués (chercheurs, techniciens producteurs) sur les performances agronomiques et environnementales de ces prototypes ont été effectuées en recourant à de la conception pas à pas. Elles ont été alimentées par la définition et l'évaluation en milieu réel de pré-prototypes de systèmes innovants de culture bananière (tests exploratoires de briques d'itinéraires techniques). La figure 6.1 illustre comment les générations de prototypes de systèmes de culture bananiers à base de plantes de service se sont inscrites dans un gradient de complexité et de diversité végétales, avec pour objectif de fournir de multiples services agro-écologiques. L'évaluation de ces systèmes de culture innovants s'est faite initialement, essentiellement sur leurs performances agronomiques et économiques. Elle s'appuie aujourd'hui sur un réseau de fermes Dephy (Démonstration, expérimentation et production de références sur les systèmes économes en phytosanitaires) implantées à la Martinique et à la Guadeloupe, sur la base d'une approche multicritère prenant en compte les dimensions économiques, environnementales mais aussi sociales de la durabilité de ces systèmes innovants (Feschet *et al.*, 2018).

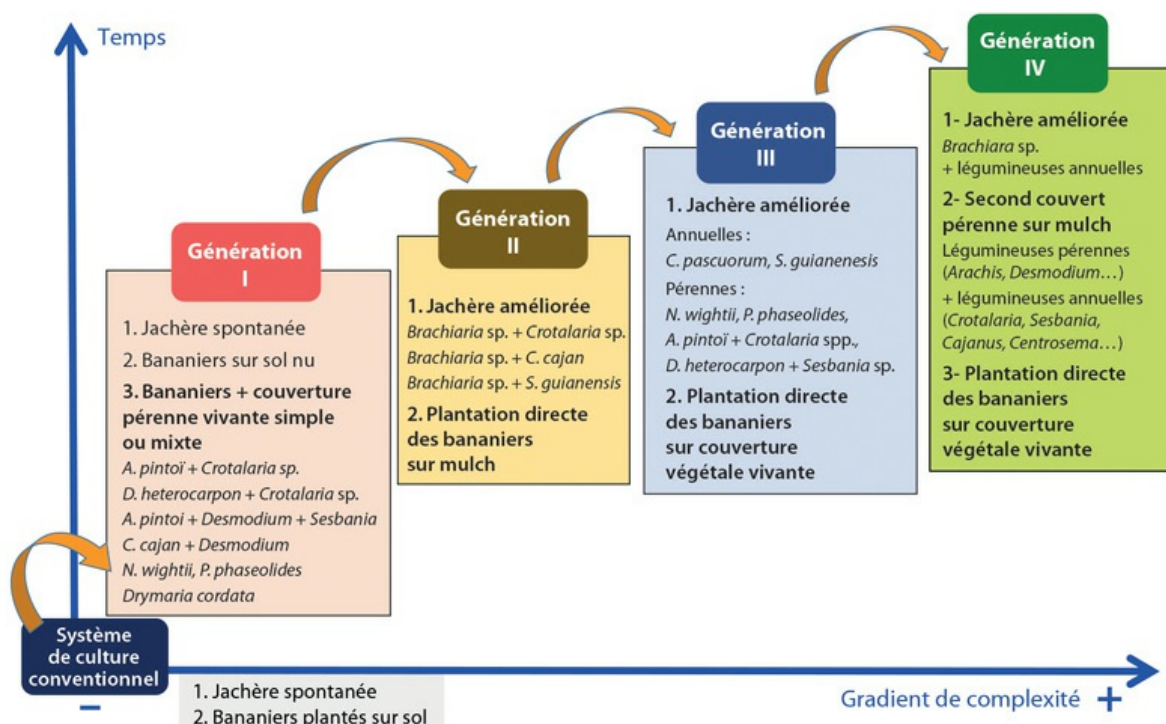


Figure 6.1. Générations successives de prototypes de systèmes de culture innovants de bananiers incluant des couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service.

Les résultats dans les systèmes de culture bananiers aux Antilles

Au-delà du maintien du niveau de production à la Martinique et de son accroissement de 50 % à la Guadeloupe, l'un des résultats phares de cette transition agro-écologique est la réduction substantielle de l'utilisation des produits phytosanitaires dans les systèmes de culture bananiers des Antilles. C'est ainsi que, conformément à l'esprit du plan Écophyto 1, la quantité de substances actives (QSA) utilisée entre 2006 et 2015 dans ces systèmes agricoles a été réduite de près de 60 % pour les deux îles, la réduction étant de plus de 30 % entre 2008 et 2011 (fig. 6.2). Si l'on calcule la quantité de substances actives (déterminée par les ventes de produits phytosanitaires aux producteurs de bananes) par hectare et par an, la diminution est également de plus de 50 % entre 2006 et 2015. Sur cette même période, la réduction d'utilisation des nématicides et insecticides a été majeure avec près de 90 % de baisse (et une baisse de moins de 50 % pour les seuls herbicides, la quantité de fongicides ayant pour sa part, dans le même temps, globalement peu varié).

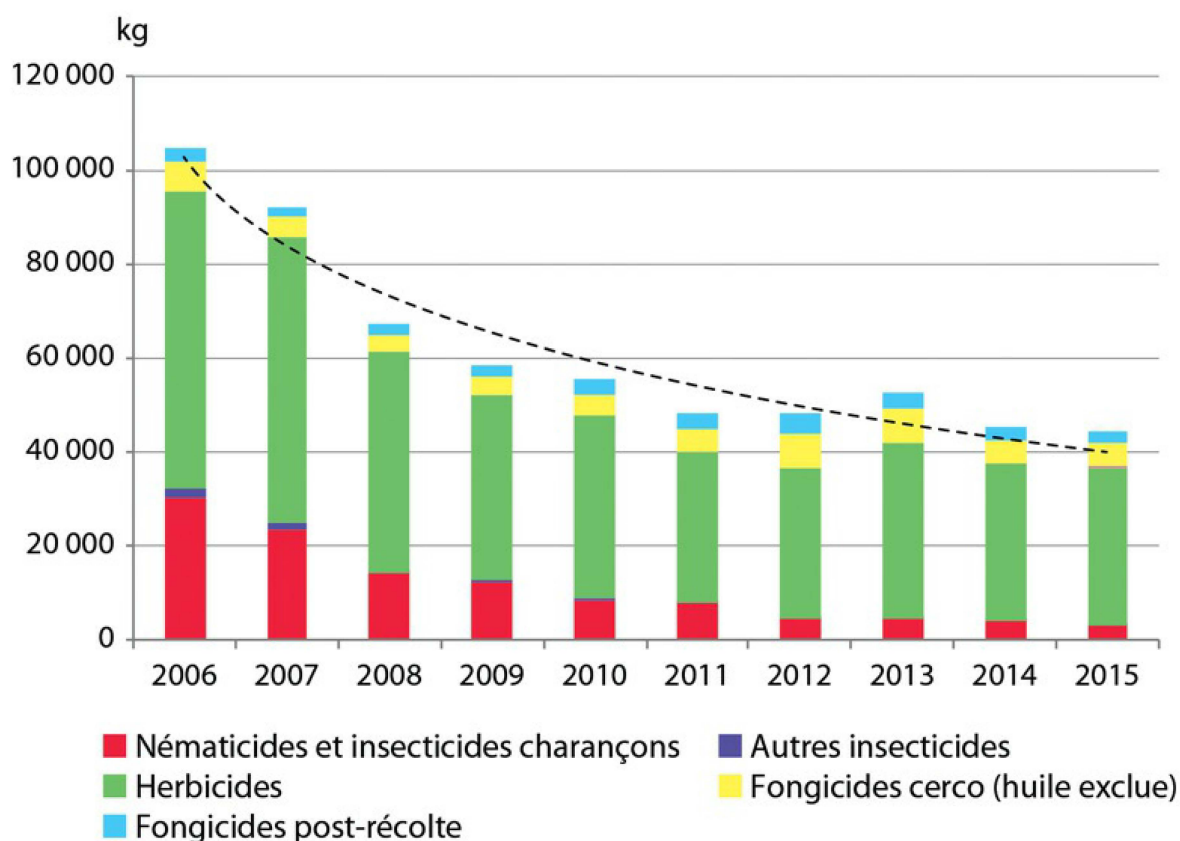


Figure 6.2. Évolution de l'utilisation de pesticides estimée en quantités de substances actives (QSA) dans les systèmes de culture bananiers des Antilles françaises entre 2006 et 2015.

Au final, les producteurs se sont très largement appropriés les pratiques de prophylaxie culturale basées sur le couplage de stratégies d'assainissement des sols vis-à-vis des parasites telluriques avec du matériel de plantation sain (vitroplants). Actuellement, plus de 80 % d'entre eux les emploient. L'utilisation des nématicides est devenue ponctuelle et marginale, les nouvelles méthodes culturales s'étant révélées particulièrement efficaces pour limiter le développement de nématodes endoparasites majeurs tels que *Radopholus similis*. Les insecticides chimiques pour lutter contre le charançon ne sont plus utilisés, les méthodes de contrôle biologique avec les pièges à fosse à sordidine s'y étant substituées en complément de la prophylaxie culturale.

Pour ce qui est des cercosporioses, la stratégie de protection intégrée déjà mise en œuvre et ensuite relayée par une gestion adaptée du stade de récolte, des pratiques d'ablation de fruits, et une utilisation croissante de l'effeuillage sanitaire a permis jusqu'ici de les contrôler, malgré l'arrivée notable de la maladie des raies noires (ou cercosporiose noire) aux Antilles françaises (2010 en Martinique et 2012 en Guadeloupe).

L'adoption des couverts bananiers à base de plantes de service est quant à elle bien amorcée, mais pas encore généralisée. Une enquête est actuellement menée de façon conjointe par le Cirad, l'Institut technique tropical et les groupements de producteurs de bananes des Antilles. Les premiers résultats indiquent qu'environ 15 % des surfaces cultivées en bananes font appel aux plantes de service, mais que la dynamique d'adoption est réelle, notamment dans les plus grandes structures de production.

L'accompagnement par les acteurs techniques et le soutien par les politiques publiques du processus de transfert des innovations

La transition agro-écologique relayée et renforcée par le plan « Banane durable » a déterminé une trajectoire de changements et d'innovations qui dépasse le seul niveau technique. Les changements ont également été structurants au niveau organisationnel, mais aussi partenarial, en renforçant les compétences de l'ensemble des acteurs et la création d'espaces de coordination, pour la construction des innovations et leur diffusion.

Le développement de nouvelles capacités

La création de l'Institut technique tropical

Sous la houlette du Cirad et des professionnels de la filière banane des Antilles, a été créé, en 2008, dans le cadre du plan « Banane durable », l'Institut technique de la banane (ITB), aujourd'hui devenu Institut technique tropical (IT2). Cet institut a été créé pour renforcer les capacités d'innovation de la recherche et des producteurs, et assurer une fonction de transfert qui était alors attendue et portée par la recherche, ainsi qu'une fonction d'appui aux groupements de producteurs pour le changement d'échelle.

L'Institut technique tropical est un partenaire et un relais privilégiés pour la recherche et les producteurs de la filière dans le cadre de la transition

agro-écologique amorcée dans les systèmes de culture bananiers des Antilles françaises. Il s'est doté de capacités propres d'analyse des impacts de la production, et a élargi progressivement ses activités vers le secteur des productions horticoles de la diversification. Il est à ce titre membre des réseaux d'Innovation et de transfert agricole (Rita) des DOM. Doté d'un conseil d'administration et d'un conseil scientifique, il fonctionne avec une équipe opérationnelle d'une douzaine d'ingénieurs en proximité forte avec les professionnels de la filière banane aux Antilles, et est depuis peu membre des instituts techniques agricoles et du réseau des instituts techniques de l'Acta (Association de coordination technique agricole).

Le lancement de deux plateformes collaboratives d'innovation

La transition agro-écologique dans les systèmes bananiers des Antilles françaises s'est également adossée au lancement et à l'action de deux plateformes collaboratives d'innovation élaborées dans le cadre du plan « Banane durable » : une plateforme de systèmes innovants de culture bananière et une plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés.

La plateforme de systèmes innovants de culture bananière est un espace d'échanges où les différentes catégories d'acteurs de la production antillaise de bananes (chercheurs, producteurs, techniciens, groupements...) interagissent pour mettre au point des systèmes de culture afin d'assurer la transition agro-écologique. Son mode de fonctionnement est illustré à la figure 6.3. Sous la direction d'un comité agronomique, les acteurs de cette plateforme définissent le cadre de contraintes d'une production bananière durable, le cahier des charges attendant et un contrat d'objectifs, à partir desquels une démarche de co-conception et d'évaluation de systèmes innovants de bananes est mise en œuvre chez des producteurs pionniers. Cette plateforme a notamment permis la conception des systèmes bananiers à base de couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service. Elle travaille en mobilisant en particulier une boîte à outils élaborée par la recherche Cirad, qui comprend principalement une collection de plantes de service, des bases de données sur les traits fonctionnels de ces plantes de service et les services écosystémiques qui y sont associés, des modèles formalisant certaines de ces connaissances (modèles de fonctionnement de la culture, d'évaluation

de plantes de service, de simulation et d'optimisation des pratiques culturales...) (Dorel *et al.*, 2008 ; Tixier *et al.*, 2008 ; Tixier *et al.*, 2011 ; Ripoche *et al.*, 2012). Cette plateforme travaille également à l'évaluation multicritère des systèmes innovants dans le cadre d'un partenariat entre le Cirad et l'Institut technique tropical. Ainsi structurée, elle bénéficie de l'intégration des connaissances et savoir-faire issus de la recherche sur le fonctionnement des systèmes innovants, et de savoirs experts disciplinaires ou relevant de l'ingénierie écologique. Ces dernières années, l'action de la plateforme de systèmes innovants de culture bananière a été renforcée par la création d'une cellule d'appui à l'installation de couverts de plantes de service, où l'Institut technique tropical et le Cirad collaborent avec l'appui de privés pour les travaux de préparation de sols, afin de fournir une assistance et une ingénierie techniques aux producteurs dans l'installation et la gestion de leurs couverts de plantes de service.

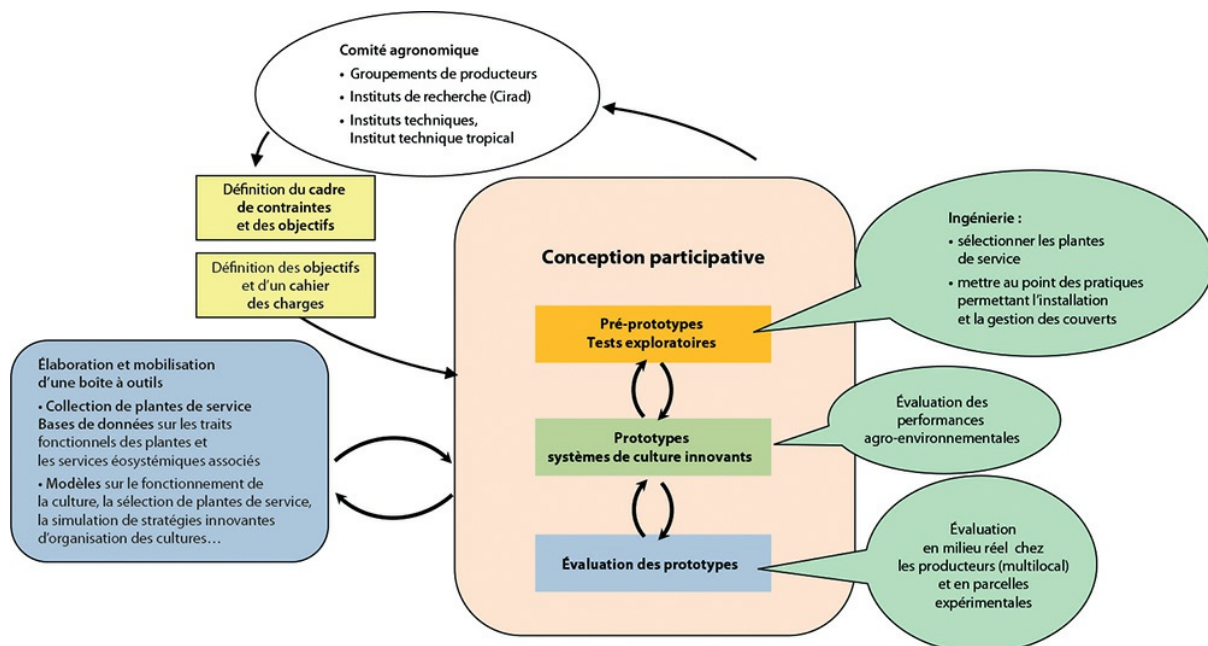


Figure 6.3. Mode d'organisation de la plateforme collaborative des systèmes de culture innovants de bananiers.

Dès son origine, la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes a également agi de manière participative pour répondre aux besoins des producteurs et des consommateurs. Son objectif était d'obtenir des variétés tolérantes aux bioagresseurs et particulièrement à la maladie des raies noires, qui soient productives, adaptées aux spécificités de la filière antillaise d'exportation et correspondant aux critères de qualité post-récolte. L'amélioration variétale des bananes est une tâche au long cours mais qui a dès le départ été intégrée aux objectifs du plan « Banane durable » et à ceux de la mise en place de la transition agro-écologique.

Même si les pas de temps de mise au point des nouvelles variétés sont nettement plus longs que ceux de mise au point de nouveaux itinéraires techniques culturaux, il a été tout de suite reconnu que ces nouvelles variétés seraient nécessaires à la mise au point d'itinéraires techniques recourant peu ou pas aux pesticides. Dès lors, se doter de capacités d'anticipation (préparer les variétés qui seront utilisées demain) et réfléchir sur le développement de ces variétés en parallèle avec celui des nouveaux systèmes de culture était apparu pertinent dans les choix tactiques et les cibles d'amélioration et de rapidité de mise au point. Mobilisant des chercheurs du Cirad spécialistes de l'amélioration et de la sélection variétales chez les bananiers et des ingénieurs de l'Institut technique tropical en charge du développement variétal, la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes a permis, dans le cadre du plan « Banane durable », d'opérationnaliser un outil original d'obtention et de sélection de nouvelles variétés (fig. 6.4). Celui-ci s'est articulé autour de la collection génétique de bananiers du Cirad (l'une des plus grandes du monde, abritée par le Centre de ressources biologiques - Plantes tropicales - des Antilles-Guyane, d'une parcelle de croisements spécialement dédiée à la plateforme, de parcelles de sélection en plein champ sur la station expérimentale de Neufchâteau (Guadeloupe) au Cirad, ainsi que d'un réseau de parcelles d'évaluation installées chez des producteurs pionniers. Structurée autour d'un comité de sélection impliquant les divers acteurs, cette plateforme a bénéficié des apports de différents laboratoires du Cirad sur les Antilles ou à Montpellier (génétique, physiologie, phytopathologie...), ainsi que du réseau aval de transport et de la mûrisserie de l'UGPBAN pour des tests préindustriels en filière des produits sortant de la plateforme. Elle a permis d'optimiser les stratégies de croisements et d'augmenter considérablement le nombre d'hybrides produits annuellement (400 en 2007 contre 800 à 1 000 ces dernières années). Plusieurs séries d'hybrides ont ainsi été créées, mais sans pour autant réunir toutes les qualités attendues et définies dans le cahier des charges de la plateforme. Parmi ceux-ci, une obtention a fait l'objet d'une attention particulière : l'hybride 'Cirad 925'. Celui-ci exprime une résistance partielle à la cercosporiose jaune et à la maladie des raies noires, une faible sensibilité aux nématodes endoparasites *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae*, et produit des régimes de bonne conformation, avec un retour de cycle rapide. Ses fruits possèdent une qualité gustative comparable à celle de la banane Cavendish. En 2015, une tentative de mise en production de cette variété sur une échelle significative (6 ha) a été tentée par le Cirad, l'Institut technique tropical et quelques producteurs

pionniers. Elle n'avait alors pas pu aboutir, car conduite selon un itinéraire technique conventionnel adapté à la Cavendish. De plus, cette variété s'est révélée bien plus haute que la Cavendish, compliquant ainsi tout particulièrement les opérations culturales de soins aux régimes et les opérations de récolte. Par ailleurs, plusieurs types de contraintes post-récolte non compatibles avec une mise en marché sont également apparues : une sensibilité des fruits à la frisure et à l'éclatement, un décalage de la maturité entre peau et pulpe des fruits, un brunissement de l'épiderme des fruits après exportation. Nous verrons cependant plus bas qu'une nouvelle donne a émergé ces dernières années pour cette variété, avec la levée des principaux verrous techniques restants.

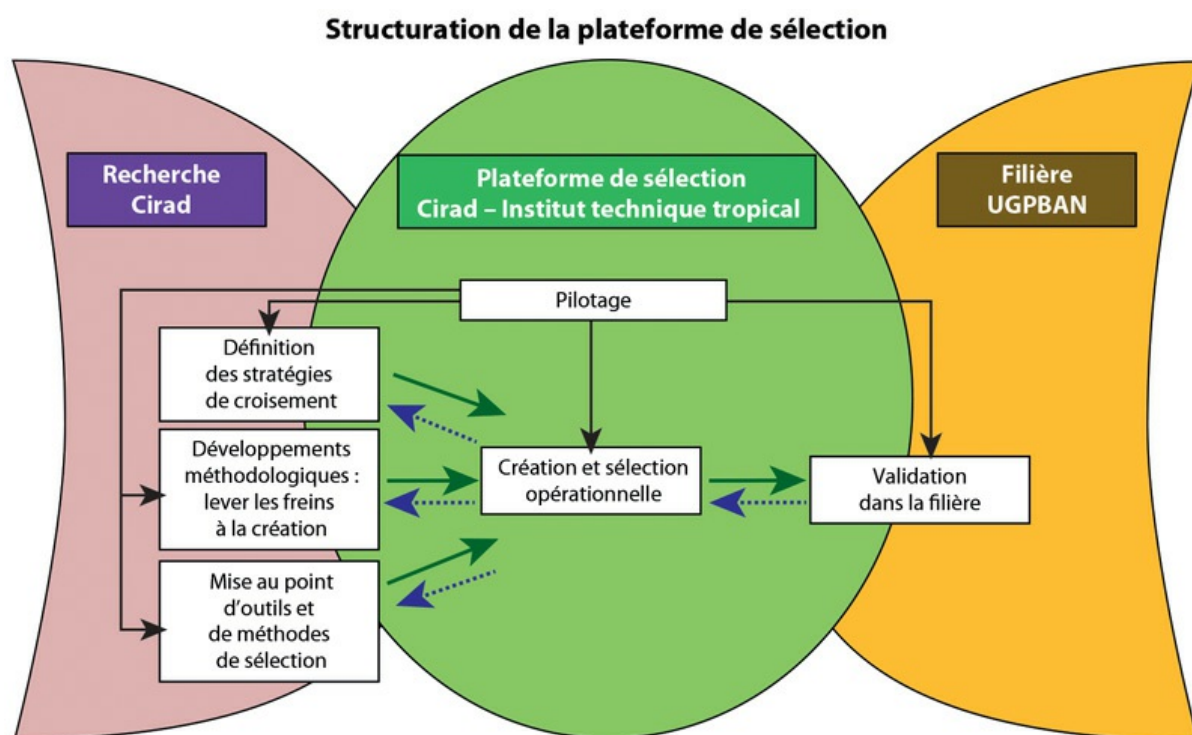


Figure 6.4. Fonctionnement de la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés (CSNV) de bananes, à l'interface de la recherche et de la filière de production de bananes (UGPBAN).

La place de la recherche dans la transition agro-écologique

Au-delà de son rôle dans le montage du plan « Banane durable » et dans le développement des deux plateformes collaboratives d'innovation et de l'Institut technique tropical, la recherche Cirad sur bananiers s'est aussi

impliquée dans des fronts de recherche propres, susceptibles d'alimenter les innovations du plan « Banane durable » et également de permettre d'anticiper la mise au point de solutions nécessaires à la poursuite de la transition agro-écologique amorcée.

Pour promouvoir l'intensification écologique par les pratiques culturales, des travaux ont d'abord été conduits sur la compréhension du fonctionnement de l'agrosystème bananier, en privilégiant l'étude des mécanismes et des processus biologiques. Les rôles de l'organisation spatiale des systèmes de culture innovants sur les bioagresseurs du bananier ont été étudiés. Les effets de la diversité végétale sur la structuration, la diversité et la stabilité des réseaux trophiques dans les systèmes bananiers ont aussi fait l'objet de recherches afin de mieux comprendre comment s'opèrent les régulations biologiques (Carval *et al.*, 2016 ; Chauvin *et al.*, 2015 ; Mollot *et al.*, 2014 ; Poeydebat *et al.*, 2017a ; Poeydebat *et al.*, 2017b ; Poeydebat *et al.*, 2018). Des approches variées de modélisation ont été mobilisées pour tenter de décrypter les processus impliqués dans ces régulations, et tester l'effet de pratiques culturales de gestion du couvert.

De nouveaux questionnements à l'interface de l'écologie et de l'agronomie ont été traités et continuent de l'être. Les chercheurs se sont par exemple intéressés à une approche basée sur l'observation des traits fonctionnels des plantes (caractéristiques individuelles représentatives du fonctionnement des plantes) qui permet d'expliquer les interactions entre plantes, les fonctions agro-écologiques qu'elles assurent et les services écosystémiques fournis dans les agrosystèmes bananiers (Damour *et al.*, 2015 ; Tardy, 2015). Elle a permis de déterminer les profils fonctionnels des plantes figurant dans la collection de plantes de service de la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes du plan « Banane durable » (Damour *et al.*, 2016 ; Tardy *et al.*, 2017). Ces profils fonctionnels ont été confrontés aux profils d'usages identifiés, dans le cadre d'une démarche participative de conception de systèmes de culture incluant les producteurs et l'Institut technique tropical. Ils ont été utilisés pour définir l'arrangement spatio-temporel des plantes de service dans les prototypes de systèmes de culture innovants. Ce type de travaux a facilité la conception de systèmes innovants opérationnels et la définition de recommandations pratiques sur les plantes de service (IT2, 2015).

Mais la recherche Cirad s'est aussi retrouvée à solutionner de nouvelles

contraintes techniques rencontrées chez les producteurs, au fur et à mesure du déploiement des solutions. Les agronomes ont ainsi, à titre d'exemple, su adapter l'itinéraire technique cultural de la variété 'Cirad 925', grâce à une méthode de sélection tardive des rejets successeurs et à une adaptation du recépage (œilletonnage) (Dorel *et al.*, 2016). Par ailleurs, une équipe de physiologistes et de technologues des fruits a intégré la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes du plan « Banane durable » et s'est attelée à la résolution des problèmes post-récolte qui grevaient la variété 'Cirad 925'. Le problème de la frisure a été résolu par une adaptation de la température de transport à 15 °C (Bugaud *et al.*, 2016 ; Luyckx, 2016), celui de l'éclatement de la peau par une meilleure maîtrise de l'humidité relative dans les cartons de transport (perforation des *polybags*) et par l'utilisation de *flow-packs* (Brat *et al.*, 2016). Quant au décalage de maturation peau-pulpe des fruits, il a pu être solutionné en limitant au maximum l'intervalle de temps entre l'arrivée en entrepôt de stockage et le traitement à l'éthylène des fruits (Luyckx, 2016). Restait le problème du brunissement des fruits après exportation. De nouveaux résultats reposant sur des solutions non chimiques ont récemment été obtenus, et doivent encore être validés par des tests en filière. Des recherches ont également été conduites pour déterminer quelles devraient être les stratégies de déploiement des nouvelles variétés afin de limiter les risques d'adaptation future des bioagresseurs aux nouvelles variétés. Un modèle de simulation pour appuyer la conception de nouvelles méthodes de contrôle de la maladie des raies noires a été développé (Landry *et al.*, 2017). Parallèlement, des travaux sur l'organisation phylogénétique de la diversité, la compréhension de la structure du génome des bananiers, et le déterminisme génétique des caractères d'intérêt agronomiques ont également été conduits en appui à la création variétale (Baurens *et al.*, 2017 ; D'Hont *et al.*, 2012 ; Perrier *et al.*, 2011).

L'appui des politiques publiques

Les niveaux politiques régional et national ont été des acteurs importants de la mise en place du plan « Banane durable ». La volonté de l'État et de l'Europe de réduire l'usage des pesticides s'est traduite par plusieurs éléments. La transition amorcée à la fin des années 1990 et au début des années 2000 s'est accompagnée de la définition et de la mise en œuvre d'outils institutionnels divers comme la Loi d'orientation agricole de 1999 (LOA), des commissions départementales d'orientation agricole (CDOA)

ou encore de mesures incitatives telles que les contrats territoriaux d'exploitation, les contrats d'agriculture durable, et les mesures agro-environnementales, à l'intention des producteurs pour des pratiques plus respectueuses de l'environnement et moins dépendantes des pesticides de synthèse. L'éco-conditionnalité des aides publiques s'est ensuite progressivement renforcée. Des arènes multi-acteurs comme celle du groupe régional d'étude des Pollutions par les produits phytosanitaires ont vu le jour. Dans le même temps, les actions de recherche et de recherche-développement ont pu bénéficier de financements sur fonds européens Docup (Document unique de programmation). En 2008, le lancement du plan « Banane durable », avec le regroupement des aides publiques allouées à la filière banane des Antilles dans le cadre du Poséi (Programme d'options spécifiques à l'éloignement et à l'insularité) et de l'Odeadom, a de nouveau consolidé ces orientations et s'est effectué principalement grâce à des fonds européens (Feader), nationaux et régionaux, avec l'appui des Régions Martinique et Guadeloupe.

Leçons génériques tirées de l'expérience et étapes à venir

Comment mesurer le succès de la transition agro-écologique dans la production de bananes aux Antilles ? Si on se réfère à un indicateur basé sur la réduction de l'utilisation des pesticides ces dernières années et sur la comparaison de ce niveau d'utilisation aux Antilles françaises avec celui d'autres zones de production, la transition agro-écologique est bien en cours. De même, si on prend comme indicateur le niveau d'implication des producteurs, des structures de gouvernance de la filière Banane Guadeloupe Martinique, on note un discours et des actions fortes en faveur d'une nouvelle façon de produire qui traduisent l'engagement de la profession dans cette voie agro-écologique.

Pour certains cependant, le plan « Banane durable » et la transition agro-écologique qui lui est associée ont été l'opportunité pour la filière de rebondir après la crise de la chlordécone, en maintenant un niveau élevé de subventions et en captant les aides diverses liées au statut de territoires ultrapériphériques, et ce au détriment de productions alimentaires importées en Guadeloupe et Martinique, alors qu'elles pourraient être produites sur place. La posture de la recherche nous conduit à ne pas rejeter *a priori* ces remarques et interrogations. C'est pourquoi nous avons

effectué l'analyse des succès et des échecs du Plan « Banane durable » sur la base de données factuelles et avec une prise de recul « temporel » sur la trajectoire de la transition agro-écologique, cette dernière ne pouvant être restreinte à la seule durée d'un plan de développement comme le Plan « Banane durable ». Nous soulignerons ici les étapes qui nous semblent devoir être renforcées pour consolider cette transition agro-écologique des productions de bananes de Martinique et Guadeloupe.

La nécessité d'une évaluation multicritère des systèmes bananiers innovants associés à la transition agro-écologique

Le plan « Banane durable » a fait l'objet d'évaluations régulières par différentes instances pilotées par les ministères et les bailleurs en général. Au-delà du travail de ces instances qui a permis un cadrage régulier de l'activité, il apparaît que l'évaluation des performances agro-environnementales et socio-économiques des nouveaux systèmes de culture érigés pour la transition agro-écologique, et celle de leurs impacts, est également une étape incontournable à renforcer. Elle doit prendre en compte les différentes échelles d'intervention et de perception des acteurs (parcelle, exploitation, bassin versant, région, territoire). Elle nécessite la définition d'outils appropriés (cadres conceptuels des relations pratiques - impacts, méthodes, indicateurs, modèles...) (Feschet *et al.*, 2018 ; Lairez *et al.*, 2015). Elle doit également s'appuyer sur des dispositifs d'acquisition de données agro-environnementales renforcés (bilans d'utilisation d'intrants exogènes de synthèse dans les sols et l'eau, biodiversité...) et socio-économiques (coûts de production, emploi, pénibilité des tâches, nouveaux métiers...). Il existe déjà aux Antilles des dispositifs de ce type qui ont commencé ce type de surveillance dans le cadre de projets financés sur fonds européens (projets Rivage, sur fonds Feder, phase 2 du plan « Banane durable »). Il faudrait qu'ils puissent devenir des véritables sites de référence labellisés de la transition agro-écologique permettant d'objectiver la valeur ajoutée environnementale, économique et sociale de cette transition.

Des réévaluations régulières du cadre de contraintes pour asseoir la dynamique d'innovations agro-

écologiques

La transition agro-écologique des systèmes bananiers aux Antilles est un phénomène qui se décline sur un pas de temps long, et qui par conséquent suppose un réexamen régulier du cadre de contraintes de la production.

Lors du lancement du plan « Banane durable » en 2008, la maladie des raies noires n'était pas encore arrivée aux Antilles. Maladie fongique aérienne aux effets plus marqués que la cercosporiose jaune, elle a été détectée à la Martinique en 2010, et en 2012 à la Guadeloupe. Dans le même temps, les années 2012 et 2013 ont été marquées par l'interdiction du traitement aérien pratiqué avec les fongicides systémiques utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée par avertissement. Ces éléments montrent à quel point le contexte peut changer rapidement (dans ses diverses dimensions législatives, techniques, sociales...) et pourquoi il est nécessaire de réévaluer périodiquement le cadre de contraintes de la transition agro-écologique. Il s'agit de s'assurer ainsi du maintien de l'opérationnalité du cahier des charges de celle-ci. Dans le cas des cercosporioses aux Antilles, la situation revêt un caractère d'urgence d'autant plus marqué que de nouvelles restrictions de la législation sur les seuls fongicides curatifs de la lutte raisonnée sont annoncées à très court terme (fin 2018 - début 2019). Cela impose aux acteurs techniques, aux producteurs et à la recherche de repenser complètement la lutte raisonnée contre les cercosporioses en optimisant les techniques et l'organisation des effeuillages sanitaires, et en liant pré- et post-récolte de manière intégrée pour espérer réduire leurs effets et impacts. Un éclairage nouveau est ainsi donné sur l'importance de mobiliser sur le court terme l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeurs (des producteurs aux distributeurs), et sur l'intérêt qu'il y aurait à promouvoir une variété résistante à la maladie des raies noires, compatible avec les exigences de l'export, et qui même si elle n'est pas amenée à remplacer complètement la banane Cavendish, pourrait aider à maîtriser durablement la maladie, particulièrement dans les zones de fortes pressions sanitaires.

Le besoin d'un cadre élargi de partage des objectifs et du déploiement de la transition agro-écologique

Nous avons vu que l'adoption des systèmes de culture bananiers à base de plantes de service n'était encore que partielle. Une meilleure

compréhension des déterminants de l'adoption de ces systèmes est encore nécessaire pour espérer une généralisation de la conversion agro-écologique. Cette montée en puissance doit être tournée à la fois vers un large déploiement des innovations à l'ensemble des producteurs, et vers d'autres acteurs que ceux de la production.

Sur un plan quantitatif, il reste encore à organiser les modalités d'un transfert plus large des innovations et des solutions alternatives co-développées par les acteurs. Ce transfert doit se poursuivre sur un mode participatif et interactif entre producteurs, recherche et techniciens, appuyé par le relais démultiplicateur offert par la formation aux innovations co-construites et les institutions. Les deux plateformes collaboratives, l'Institut technique tropical, la cellule d'appui à l'installation des couvertures végétales sont autant d'outils essentiels à la réalisation de cet objectif. Si la structuration d'un plan d'action qui s'appuyait sur la filière et les acteurs de la production est apparue comme logique et portant sans doute le plus de chances de succès, l'élargissement du concept de durabilité vers la filière et les territoires dans lesquels ce plan s'insère devient la nouvelle étape à aborder. Sur un plan qualitatif, pour opérer une montée en puissance, il est nécessaire que s'ouvrent de nouvelles arènes de concertation entre les différentes catégories d'acteurs (producteurs, groupements, instituts techniques, recherche, institutionnels...) avec une implication renforcée de la société civile. Ainsi les objectifs de la transition agro-écologique seront consolidés en commun et par conséquent mieux partagés. Les acteurs « aval » de la chaîne de valeurs comme les distributeurs et les grandes et moyennes surfaces doivent également pouvoir s'approprier ces objectifs et participer aux cahiers des charges attendant, pour qu'une dynamique multi-acteur se structure dans l'espace et dans le temps, en cohérence avec les attentes des consommateurs, et pour que la valorisation des démarches de production trouve sa place dans de nouveaux marchés.

Références

ARS, Ireps, 2016. La pollution par la chlordécone en Martinique, point de situation 2016, 86 p.

Baurens F.C., Martin G., Rouard M., Salmon F., Njembele J.C., Habas R., Ricci S., D'Hont A., 2017. Genome structure and chromosome segregation

in triploid interspecific plantain bananas (AAB) and breeding accessions (AAAB), Résumé, 1 p.

Brat P., Lechaudel M., Segret L., Morillon R., Hubert O., Gros O., Lambert F., Benoit S., Bugaud C., Salmon F., 2016. Post-harvest banana peel splitting as a function of relative humidity storage conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38 (10), 16 p.

Bugaud C., Joannès-Dumec C., Louisor J., Tixier P., Salmon F., 2016. Preharvest temperature affects chilling injury in dessert bananas during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (7), 2384-2390, <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7354> ☐.

Cabidoche Y.-M., Achard R., Cattan P., Clermont Dauphin C., Massat F., Sansoulet J., 2009. Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution*, 157, 1697-1705.

Carval D., Resmond R., Achard R., Tixier P., 2016. Cover cropping reduces the abundance of the banana weevil *Cosmopolites sordidus* but does not reduce its damage. *Biological Control*, 99, 14-18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.04.004> ☐.

Chauvin C., Dorel M., Villenave C., Roger-Estrade J., Thuries L., Risède J.M., 2015. Biochemical characteristics of cover crop litter affect the soil food web, organic matter decomposition, and regulation of plant-parasitic nematodes in a banana field soil. *Applied Soil Ecology*, 96, 131-140, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.013> ☐.

Damour G., Garnier E., Navas M.L., Dorel M., Risède J.M., 2015. Using functional traits to assess the services provided by cover plants: A review of potentialities in banana cropping systems. *Advances in Agronomy*, 134, 81-133, <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.004> ☐ .

Damour G., Guerin C., Dorel M., 2016. Leaf area development strategies of cover plants used in banana plantations identified from a set of plant traits. *European Journal of Agronomy*, 74, 103-111, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.007> ☐.

Delvaux B., Perrier X., Guyot P., 1990. Diagnostic de la fertilité de systèmes culturaux intensifs en bananeraies à la Martinique. *Fruits*, 45 (3),

D'Hont A., Dencœud F., Aury J.-M., Baurens F.-C., Carreel F., Garsmeur O., Noël B., Bocs S., Droc G., Rouard M., Da Silva C., Jabbari K., Cardi C., Poulain J., Souquet M., Labadie K., Jourda C., Lengellé J., Rodier-Goud M., Alberti A., Bernard M., Correa M., Ayyampalayam S., Mckain M.R., Leebens-Mack J., Burgess D., Freeling M., Mbéguié-A-Mbéguié D., Chabannes M., Wicker T., Panaud O., Barbosa J., Hribova E., Heslop H.P., Habas R., Rivallan R., François P., Poiron C., Kilian A., Burthia D., Jenny C., Bakry F., Brown S., Guignon V., Kema G.H.J., Dita M.A., Waalwijk C., Joseph S., Dievart A., Jaillon O., Leclercq J., Argout X., Lyons E., Almeida A., Jeridi M., Dolezel J., Roux N., Risterucci A.-M., Weissenbach J., Ruiz M., Glaszmann J.-C., Quetier F., Yahiaoui N., Wincker P., 2012. The banana (*Musa acuminata*) genome and the evolution of monocotyledonous plants. *Nature*, 488 (7410), 213-217, <http://dx.doi.org/10.1038/nature11241> ☐.

Dorel M., Achard R., Tixier P., 2008. SIMBA-N: Modeling nitrogen dynamics in banana populations in wet tropical climate: Application to fertilization management in the Caribbean. *European Journal of Agronomy*, 29 (1), 38-45, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2008.02.004> ☐.

Dorel M., Damour G., Leclerc N., Lakhia S., Ricci S., Vingadassalon F., Salmon F., 2016. Parent plant vs sucker how can competition for photoassimilate allocation and light acquisition be managed in new banana hybrids? *Field Crops Research*, 198, 70-79, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.028> ☐.

Dorel M., Perrier X., 1990. Influence du milieu et des techniques culturales sur la productivité des bananeraies de Guadeloupe. *Fruits*, 45 (3), 237-244.


Feschet P., Lœillet D., Risède J.M., 2018. Multi-criteria assessment of innovative cropping systems in French West Indies. In : *Proceedings of the Xth International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on Agroecological Approaches to Promote Innovative Banana Production Systems* (I. Van den Bergh, J.-M. Risède, V. Johnson, eds), ISHS, Louvain, 187-194. *Acta Horticulturae*, 1196, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1196.23> ☐.


Imbert E., Lœillet D., 2017. *FruiTrop, Focus Banane : Le guide du*

commerce international de la Banane, FruiTrop, 272 p.

IT2, 2015. Petit guide pratique des couverts végétaux : Pistes pour le choix et la conduite d'une couverture végétale compagne ou en rotation. Focus sur la culture de la banane en Guadeloupe et Martinique, 71 p.

Kermarrec B., 1980, Niveau actuel de la contamination des chaînes biologiques en Guadeloupe : Pesticides et métaux lourds, Inra Guadeloupe, ministère de l'Agriculture, 155 p.

Lairez J., Feschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I., 2015. *Agriculture et développement durable : Guide pour l'évaluation multicritère*, éditions Quæ-Éducagri, Versailles, 232 p., <https://www.dawsonera.com/abstract/9782759224418> 


Landry C., Bonnot F., Ravigné V., Carlier J., Rengifo D., Vaillant J., Abadie C., 2017. A foliar disease simulation model to assist the design of new control methods against black leaf streak disease of banana. *Ecological Modelling*, 359, 383-397, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.05.009> 

Luyckx A., Lechaudel M., Hubert O., Gros O., Bugaud C., Benoit S., Leclerc N., Salmon F., Brat P., 2016. Management of post-harvest fruit quality for ecologically intensified banana cropping systems. *Proceedings of the Xth International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on Agroecological Approaches to Promote Innovative Banana Production Systems* (I. Van den Bergh, J.-M. Risède, V. Johnson, eds), ISHS, Louvain, 79-86.

Luyckx A., Lechaudel M., Hubert O., Salmon F., Brat P., 2016. Banana peel physiological post-harvest disorders: A review. *MOJ Food Processing and Technology*, 3 (1), 7 p.

Mollot G., Duyck P.-F., Lefeuvre P., Lescourret F., Martin J.-F., Piry S., Canard E., Tixier P., 2014. Cover cropping alters the diet of arthropods in a banana plantation: A metabarcoding approach. *PLoS One*, 9, e93740.


Perrier X., De Langhe E., Donohue M., Lentfer C., Vrydaghs L., Bakry F., Carreel F., Hippolyte I., Horry J.P., Jenny C., Lebot V., Risterucci A.M., Tomekpé K., Doutrelepont H., Ball T., Manwaring J., De Maret P., Denham T., 2011. Multidisciplinary perspectives on banana (spp.)


domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (28), 11311-11318, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1102001108> .

Poeydebat C., Carval D., Tixier P., Daribo M.-O., de Lapeyre de Bellaire L., 2018. Ecological regulation of black leaf streak disease driven by plant richness in banana agroecosystems. *Phytopathology*, 108, 1184-1195.

Poeydebat C., Tixier P., Chabrier C., De Lapeyre de Bellaire L., Vargas R., Daribo M.O., Carval D., 2017a. Does plant richness alter multitrophic soil food web and promote plant-parasitic nematode regulation in banana agroecosystems? *Applied Soil Ecology*, 117-118, 137-146.


Poeydebat C., Tixier P., De Lapeyre de Bellaire L., Carval D., 2017b. Plant richness enhances banana weevil regulation in a tropical agroecosystem by affecting a multitrophic food web. *Biological Control*, 114, 125-132.

Ripoche A., Achard R., Laurens A., Tixier P., 2012. Modeling spatial partitioning of light and nitrogen resources in banana cover-cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 41, 81-91, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.04.001> .

Risède J.M., Simoneau P., 2004. Pathogenic and genetic diversity of soilborne isolates of *Cylindrocladium* from banana cropping systems. *European Journal of Plant Pathology*, 110 (2), 139-154, <http://dx.doi.org/10.1023/B:EJPP.0000015337.54178.c0> .

Risède J.M., Tezenas du Montcel H., 1997. Systèmes monoculturaux bananiers et protection de l'environnement : État des lieux et perspectives. *Fruits*, 52, 225-232.

Snegaroff J., 1977. Les résidus d'insecticides organochlorés dans les sols et les rivières de la région bananière de Guadeloupe. *Phytiatrie-Phytopharmacie*, 26, 251-268.

Tardy F., Damour G., Dorel M., Moreau D., 2017. Trait-based characterisation of soil exploitation strategies of banana, weeds and cover plant species. *PloS One*, 12 (3), e017306, 17 p., <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0173066> .

Tixier P., Lavigne C., Alvarez S., Gauquier A., Blanchard M., Ripoche A., Achard R., 2011. Model evaluation of cover crops, application to eleven species for banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34 (1), 53-61.

Tixier P., Malézieux E., Dorel M., Wery J., 2008. Simba, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems*, 97 (3), 139-150, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2008.02.003> ☐.

Tardy F., Moreau D., Dorel M., Damour G., 2015. Trait-based characterization of cover plants' light competition strategies for weed control in banana cropping systems in the French West Indies. *Europ. J. Agronomy*, 71 (2015), 10-18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.08.002> ☐

CHAPITRE 7

Développement de systèmes agro-écologiques horticoles à la Réunion

Jean-Philippe Deguine, Jean-Noël Aubertot, Jean-Charles de Cambiaire, Céline Cresson, M'hand Fares, Guy Lambert, Marlène Marquier, Toulassi Nurbel, Philippe Laurent, Luc Vanhuffel, Didier Vincenot

À la Réunion, l'agriculture occupe une place économique et sociale importante, avec une grande diversité de productions animales et végétales. Les productions végétales majeures sont la canne à sucre et les cultures horticoles. Les principales orientations de l'agriculture réunionnaise sont définies dans le Plan réunionnais de développement durable de l'agriculture et de l'agroalimentaire (Praad), avec deux objectifs essentiels : assurer l'autosuffisance alimentaire, avec notamment l'augmentation de la production locale pour la filière fruits et légumes ; et développer des systèmes de cultures agro-écologiques pour cette filière.

En effet, les infestations de bioagresseurs (ravageurs et maladies) qui touchent les cultures fruitières et maraîchères avaient entraîné depuis les années 1980 la diffusion à grande échelle de la protection agrochimique. Or celle-ci a montré clairement ses limites : efficacité réduite, effets négatifs sur l'environnement, risques sanitaires, déséquilibres écologiques. Depuis une dizaine d'années, des expériences basées sur l'application des principes de la protection agro-écologique des cultures (PAEC) ont ainsi été mises en place sur des cultures maraîchères (Cucurbitacées : chouchou, courgette, citrouille) et fruitières (mangue) (Deguine *et al.*, 2015 et 2018). La protection agro-écologique des cultures est un concept de protection des cultures reposant sur un raisonnement écologique du fonctionnement durable des agroécosystèmes (Deguine *et al.*, 2017).

Ces expériences qui ont réuni de nombreux partenaires de la profession agricole ont placé les producteurs au centre du dispositif et se sont déroulées en plusieurs étapes avant, pendant et après des projets de recherche et développement en partenariat (Gamour pour les Cucurbitacées[18], Biophyto pour la culture du manguier[19]). Elles ont permis de comparer les performances des systèmes de cultures horticoles conduits de manière conventionnelle (avec agrochimie), à celles de systèmes de cultures conduits selon des pratiques agro-écologiques. L'objectif de ce chapitre est de décrire les résultats et le déroulement de ces expériences qui sont nombreux et encourageants, et d'en dégager des leçons génériques.

Les déterminants de la transition agro-écologique

La recherche d'alternatives à l'agriculture conventionnelle

À la Réunion, la recherche d'alternatives à l'agriculture conventionnelle par l'agro-écologie est apparue pertinente dans les années 2000, compte tenu des avantages présentés par cette approche (prise en compte de la durabilité écologique des agroécosystèmes, meilleur respect de l'environnement et de la santé humaine), les réticences de principe concernant essentiellement les aspects socio-économiques. L'alternative agro-écologique est notamment apparue incontournable pour les filières

fruits et légumes de la Réunion, et *a fortiori* pour des cultures maraîchères (chou chou) ou fruitières (mangue) à forte valeur culturelle et patrimoniale, dont les productions sont consommées localement et régulièrement.

Dans les années 2000, des pertes significatives en production de chou chou et des baisses alarmantes des surfaces cultivées ont en effet été enregistrées, au point que la disparition de cette culture, pourtant emblématique à la Réunion, était devenue d'actualité. De même, la culture de la courgette était confrontée à des pertes importantes, atteignant régulièrement la totalité de la production et provoquant la baisse des surfaces cultivées. Pour ces types de cultures, la production ne satisfaisait pas la demande locale. Les impasses agronomiques, phytosanitaires, socio-économiques de ces cultures de Cucurbitacées ont ainsi accéléré la conception et la mise en œuvre de nouveaux systèmes de cultures basés sur l'agro-écologie. Dans le cas de la culture de la mangue, confrontée à un cortège important de bioagresseurs, les producteurs se sont montrés intéressés par les modes de production agro-écologiques proposés, avec un objectif affiché d'améliorer l'image de marque et les performances qualitatives et économiques de la filière, afin notamment d'accéder à des marchés nouveaux (des produits plus sains pour l'agriculture biologique, l'accès au marché d'exportation).

Des agroécosystèmes compatibles avec des écosystèmes exceptionnels

Un autre enjeu, à l'origine de l'orientation agro-écologique des cultures horticoles, a été de rendre compatible et cohérente la cohabitation de plusieurs types d'écosystèmes sur une surface insulaire limitée : d'une part, des écosystèmes naturels réputés à la Réunion, comme la réserve naturelle marine ou le Parc national de la Réunion, inscrit sur la liste du patrimoine mondial de l'Unesco et considéré comme un *hotspot* de biodiversité à l'échelle mondiale et, d'autre part, des écosystèmes cultivés.

L'évolution réglementaire

Le moteur de la transition agro-écologique résulte d'un assemblage d'actions, d'engagements et d'efforts de l'ensemble des acteurs agricoles locaux, depuis la recherche jusqu'aux pouvoirs publics. L'évolution

réglementaire a représenté également un accélérateur de la transition agro-écologique. À l'échelle de l'Union européenne, certaines directives (par exemple 2009/18/EC) ont joué un rôle significatif, aussi bien pour la réduction du nombre de spécialités phytopharmaceutiques utilisables que pour les orientations générales à engager dans la protection des cultures. De même à l'échelle nationale, le Grenelle de l'environnement en 2007 a engendré le plan national Écophyto (2008-2018), qui vise à réduire de moitié l'usage des pesticides chimiques ; le projet agro-écologique pour la France de 2012 a prôné la transition vers de nouveaux systèmes de production agro-écologiques et a incité à « enseigner autrement » dans le monde agricole ; la Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, adoptée en 2014, a fortement incité les agriculteurs à travailler ensemble au sein des groupements d'intérêts économiques et environnementaux.

Les pratiques agro-écologiques mises en œuvre

La protection agro-écologique des cultures et sa déclinaison sur le terrain

Cette démarche vise à privilégier le fonctionnement écologique de l'agroécosystème, en optimisant les interactions entre les communautés animales et les communautés végétales et en favorisant la santé du sol. Cette optimisation cherche à réduire les risques d'infestation, d'infection ou de pullulation de bioagresseurs. Biodiversité et santé du sol sont les deux axes directeurs de cette déclinaison. Sur le plan des pratiques, la protection agro-écologique des cultures s'appuie sur trois piliers : les mesures préventives qui sont privilégiées, la lutte biologique par conservation au centre, et la gestion des habitats (et des habitants) déclinée en pratiques culturelles et agronomiques.

La protection agro-écologique des cultures repose sur l'adoption d'une démarche systémique, intégrant des échelles élargies d'espace et de temps compte tenu des capacités de dispersion aérienne et de la capacité de survie dans le sol de certains bioagresseurs. Les stratégies de gestion dépassent ainsi les échelles de la parcelle et de l'itinéraire technique, pour être mises en place à l'échelle de l'exploitation ou du paysage, nécessitant alors une coordination entre acteurs (échelle de gestion collégiale).

L'ensemble des acteurs doit être concerné : les agriculteurs, mais aussi les autres acteurs agricoles (recherche, expérimentation, conseil, formation, transfert, gestionnaires politiques) et les gestionnaires de l'espace.

L'application sur le terrain implique l'adoption d'une stratégie ordonnée de pratiques phytosanitaires et agronomiques, assurant la gestion des populations de bioagresseurs et de leurs auxiliaires et résultant d'une démarche systémique et participative (Deguine *et al.*, 2017). Les trois lignes directrices de cette déclinaison sont de :

- favoriser la biodiversité végétale ;
- favoriser la santé du sol ;
- considérer la lutte biologique par conservation comme le centre de gravité de la protection agro-écologique des cultures.

Les pratiques agro-écologiques mises en œuvre à la Réunion

Les pratiques mises en œuvre sont synthétisées chronologiquement, dans le tableau 7.1 (Deguine *et al.*, 2017).

Tableau 7.1. Stratégie phytosanitaire ordonnée de protection agro-écologique des cultures, adoptée dans les expériences sur Cucurbitacées et manguier à la Réunion.

Pratique agro-écologique recommandée*	Cultures maraîchères (Cucurbitacées)		Cultures fruitières (manguier)
	Chou chou	Courgette	Mangue
Arrêt des traitements insecticides conventionnels	oui	oui	oui
Arrêt des traitements herbicides	oui	oui	oui
<i>Augmentorium</i>	oui	oui	oui
Couverture végétale permanente	oui	non	oui
Plantes pièges	non	oui	oui
Bandes fleuries	non	non	oui
Plantes refuges	non	non	oui
Réduction de la fertilisation	oui	non	non

minérale	oui	non	non
Amendements organiques	oui	oui	oui
Piégeage	oui	oui	oui
Utilisation d'appâts adulticides	non	oui	oui
Mesures curatives**	non	non	non

Le chou chou et la courgette (qui englobe également d'autres cultures de plein champ comme la citrouille ou le concombre) ont été considérés séparément. Le chou chou est en effet cultivé sur treille et sa gestion peut être comparée à celle d'une culture pérenne. La courgette est un légume de plein champ à cycle court. Dans le tableau, « oui » signifie que la pratique est recommandée et « non » que la pratique n'est pas recommandée.

* Si on la considère comme une pratique, l'observation est centrale et continue dans cette stratégie.

** Dans ces mesures curatives, l'utilisation de pesticides chimiques est envisagée en tout dernier recours et selon des modalités optimisées et ciblées, avec le plus faible impact pour ne pas mettre en péril les régulations biologiques mises en place.

Les résultats de ces expériences, après plusieurs années de recul, sont très encourageants. Ils sont riches d'enseignements et présentent un intérêt générique évident. Les principaux résultats évalués au cours des projets de recherche-développement Gamour et Biophyto sont présentés en détail par ailleurs (Deguine *et al.*, 2015 et 2018) et succinctement ci-dessous.

La réduction, voire la suppression, des traitements insecticides et herbicides a provoqué des changements socio-économiques[20] :

- sur la courgette, passage du traitement en culture conventionnelle de plusieurs centaines de grammes par hectare d'une association pyréthrinoïde-organophosphoré par application à la protection agro-écologique avec quelques grammes d'un insecticide biologique ;
- sur le chou chou, insecticide et herbicide supprimés totalement en culture agro-écologique ;
- sur le manguier, l'indice de fréquence de traitement (IFT) passé de 22,4 avant le projet Biophyto à 0,3 à la fin du projet (fig. 7.1).

De même, les coûts ont baissé de manière significative : – 75 % pour les coûts de protection sur courgette (tab. 7.2) et chou chou, – 35 % pour les coûts de production sur manguier.

protection agrochimique et protection agro-écologique des cultures de courgette. Source : déclarations d'agriculteurs dans la zone du projet Gamour (adapté de Deguine *et al.*, 2015).

Protection	Critère	Protection agrochimique	Protection agro-écologique
Caractéristiques	Nombre de traitements insecticides	1,5	1
	Produits commerciaux	Cyperfor-Danadim	Synéis-appât®
	Matières actives	Cyperméthrine-diméthoate	Spinosad
	Quantité de matières actives appliquée (g/ha/traitement)	45 + 450	0,008
	Localisation de l'application	Parcelle entière	Taches sur plantes de bordures
Temps de travail	Ramassage de fruits piqués (h/ha/semaine)	0	2 au début et 0,25 après quelques semaines
	Traitement (h/ha/semaine)	4,5	1
	Installation des pièges (h/ha/3 mois)	0	1
	Plantation de la plante piège (h/cycle)	0	10
	Temps total de protection (semaine)	4,5	4,1
Coût (€)	Par semaine	66	18
	Par cycle	1 320	370

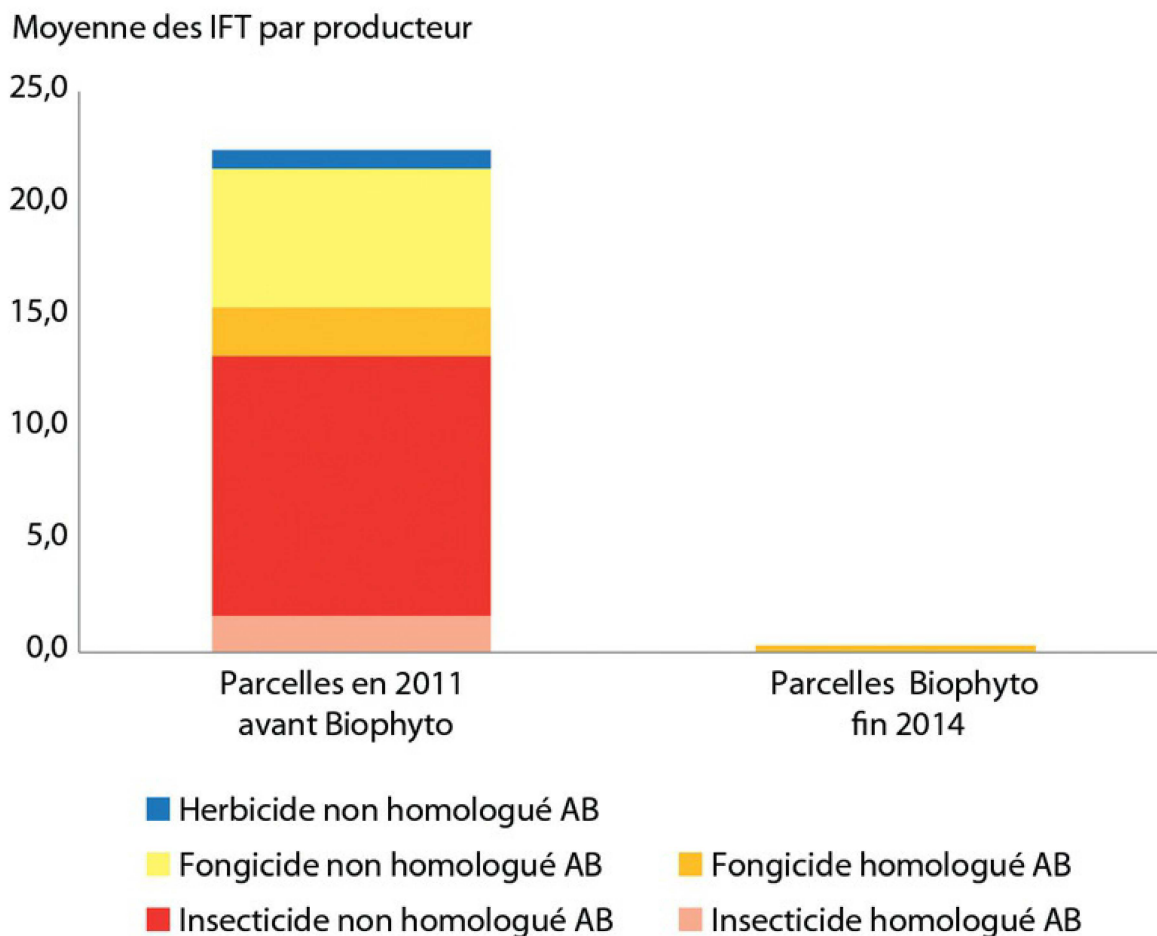


Figure 7.1. Indice de fréquence de traitement (IFT) avant le début et à la fin du projet Biophyto.

Moyennes réalisées sur cinq exploitations Biophyto appartenant au réseau Dephy ferme mangue Écophyto (chambre d'agriculture de la Réunion, 2015), prenant en compte les traitements homologués ou non pour l'Agriculture biologique (AB) (adapté de Deguine *et al.*, 2017).

Enfin, d'après les mesures effectuées dans le cadre des projets de recherche-développement, les productions n'ont globalement pas baissé. Au contraire, elles ont eu tendance à augmenter sur les cultures agro-écologiques de Cucurbitacées. Dans le cadre du projet Gamour, sur 26 cycles de culture de courgette, la production est passée de 13,1 t/ha dans les parcelles agrochimiques à 19,3 t/ha dans les parcelles agro-écologiques (+ 47 %). Sur 7,6 ha de chou chou cultivé sous treille à Salazie entre 2007 et 2011, la production annuelle a augmenté de 48 % (fig. 7.2).

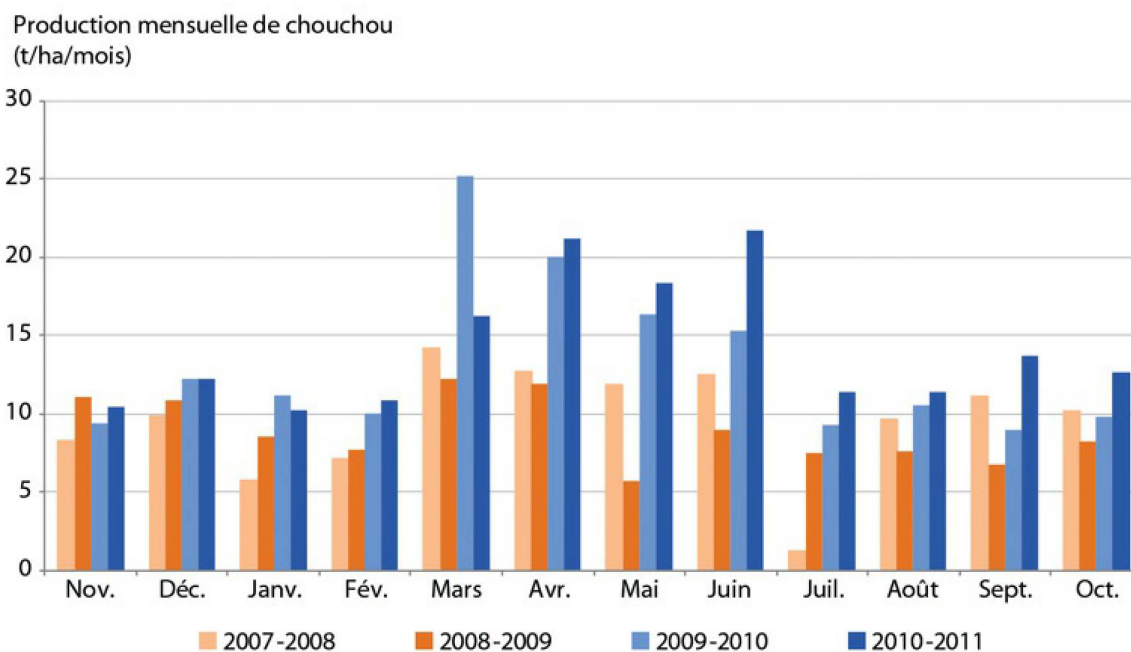


Figure 7.2. Production mensuelle de chou chou sur une exploitation de Salazie de 7,6 ha, en 2007 et 2008 (en orange, avant le projet Gamour, en protection agrochimique), et en 2009 et 2010 (en bleu, pendant le projet Gamour, en protection agro-écologique) (adapté de Deguine *et al.*, 2015).

Sur la mangue, globalement au cours du projet Biophyto, les suivis ont montré des rendements équivalents entre les parcelles conventionnelles et les parcelles en protection agro-écologique du projet Biophyto (Gloanec *et al.*, 2016). Des rendements inférieurs, sans pouvoir dire s'ils sont significatifs, ont été constatés dans quelques cas, essentiellement dans les secteurs sensibles à la cécidomyie, en particulier dans des parcelles à fort potentiel de production (variété 'Cogshall' permettant une intensification importante). Par ailleurs, certains fongicides contre l'oïdium, bien que compatibles avec le cahier des charges « bio », n'ont pas toujours été appliqués, car l'incidence de cette maladie a été parfois sous-estimée ; cela a pu contribuer à des cas de pertes de production.

Sur le plan environnemental et sanitaire, les suppressions très importantes des quantités d'insecticides et d'herbicides épandus ont eu des répercussions bénéfiques, à la fois sur la faune et la flore. En outre, on peut supposer que les impacts sur la qualité de l'eau et sur la santé humaine, non mesurés au cours des différentes études, sont favorables.

Par ailleurs, le fonctionnement écologique des agroécosystèmes conduits de manière agro-écologique a été amélioré, notamment par une

augmentation de la biodiversité fonctionnelle. Les expériences aussi bien sur cultures maraîchères que sur cultures fruitières ont permis de sensibiliser les acteurs en général, et les agriculteurs en particulier, sur la place et le rôle de la biodiversité. Par exemple, des études approfondies ont été conduites dans les vergers de manguiers et des connaissances originales ont été acquises. À titre d'illustration, plus de 120 000 arthropodes ont été récoltés dans les vergers et près de 800 morpho-espèces[21] ont été dénombrées. Parmi celles-ci, seules quelques espèces peuvent être considérées comme nuisibles au manguiers, alors qu'on dénombre près de 200 morpho-espèces de parasitoïdes. Par ailleurs, l'arrêt des traitements dans les cultures de chou chou a fait revenir, selon les agriculteurs, un grand nombre d'auxiliaires, que ce soit des arthropodes (araignées) ou des reptiles (caméléons). Dans la zone pilote du projet Gamour de Petite-Île, les agriculteurs ont mentionné le « retour des abeilles » dans leurs champs de courgette.

Accompagnement technique et soutien des politiques publiques

Une adoption diversifiée des pratiques et des productions en transition

Globalement, les agriculteurs pilotes impliqués dans les projets de recherche-développement (Gamour et Biophyto) se sont approprié les pratiques agro-écologiques et ont exprimé une grande satisfaction, notamment parce que ces pratiques se sont révélées plus efficaces et moins onéreuses que les pratiques conventionnelles.

Les répercussions, sur le marché, de l'essor des pratiques et des productions agro-écologiques, ont déjà été visibles pour certaines cultures (60 % de la production du chou chou est en « bio » en 2017 et les prix de vente des producteurs ont largement augmenté) et sont en cours pour d'autres (augmentation du nombre de producteurs de mangue en groupement d'intérêt économique et environnemental et en « bio »). Sur la mangue, la possibilité d'une valorisation commerciale a été analysée dans le cadre du projet Biophyto, d'une part, *via* une étude de marché réalisée auprès de 400 consommateurs et, d'autre part, *via* une consultation des acteurs de la chaîne de valeur (du producteur au distributeur). Ces enquêtes

ont mis en relief le potentiel commercial des mangues produites selon les pratiques Biophyto, mais aussi ont permis de mieux appréhender les voies de commercialisation et valorisation les plus adaptées (Técher *et al.*, 2015). La mise en place d'une petite étiquette apposée sur chaque fruit (du type « Je protège la biodiversité » ou « Je protège mon île ») s'avère plus adaptée et pertinente qu'un label (du type « Mangue agro-écologique »). De plus, l'augmentation de la production de mangue « bio » — que l'on peut espérer pour les années à venir —, devrait être valorisée, en plus du marché local, à l'exportation (des importateurs du marché de Rungis ont déjà manifesté leur intérêt).

Après les projets Gamour et Biophyto, le relais a été pris par les organismes agricoles chargés du transfert (association de producteurs, chambre d'Agriculture). Ceux-ci ont été accompagnés par les pouvoirs publics, afin de promouvoir, diffuser les pratiques agro-écologiques proposées et faciliter l'expansion de l'agriculture biologique.

L'adoption des pratiques agro-écologiques par les autres agriculteurs après le projet a varié selon les cultures : l'adoption a été très satisfaisante pour la culture du chou ; elle est en cours actuellement — et satisfaisante — pour la mangue, elle est médiocre pour les Cucurbitacées de plein champ (courgette, citrouille, concombre). Les deux formes d'adoption, bonne ou médiocre, ont permis de tirer des leçons pour les expériences futures.

Des partenaires complémentaires et une organisation exemplaire

Face aux impasses de l'agrochimie, tous les acteurs de la profession agricole, de la recherche au transfert, en passant par l'expérimentation, le conseil, la formation, ainsi que les producteurs et les décideurs politiques, se sont montrés motivés à l'idée d'unir leurs forces de manière cohérente et complémentaire dans une dynamique agro-écologique. Tous ces acteurs étaient prêts à tester en milieu producteur les principes de la protection agro-écologique, ce qui reflétait leur volonté commune que le changement des mentalités se concrétise en un changement des pratiques.

Grâce à l'implication de tous, la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des expériences agro-écologiques, ainsi que la phase de

transfert, ont parfaitement fonctionné :

- la recherche (Cirad) a lancé cette initiative et a coordonné la mise en place sur le terrain des projets de recherche-développement ;
- la chambre d'agriculture de la Réunion a assuré la coordination technique des différents partenaires ;
- les organismes d'expérimentation et d'appui en protection des cultures (institut technique Armefhor, fédération FDGDON[22]) ont apporté leur expertise pour faciliter la mise en place des pratiques sur le terrain ;
- les organismes de développement et les pouvoirs publics ont joué un rôle déterminant dans le transfert des innovations.

Au-delà de la motivation des acteurs techniques, le territoire de la Réunion bénéficie d'une organisation partenariale exemplaire qui a facilité la transition agro-écologique. Ainsi, promouvoir l'agro-écologie est un des six axes stratégiques inscrits dans le Praad. Appliquée aux systèmes de cultures fruitiers et maraîchers, cette démarche est pilotée au sein du réseau d'innovation et de transfert agricole (Rita) horticole, créé à la Réunion, qui vise à faciliter le transfert des résultats des recherches aux utilisateurs. À côté de ce réseau horticole Rita, une convention (unité mixte technologique Santé végétale et production agro-écologique en milieu tropical) associe, à la Réunion, le Cirad, l'Anses (l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), l'Armefhor et la FDGDON. Elle vise à mettre en cohérence et en synergie les activités de recherche et d'expérimentation des organismes concernés sur les thématiques de production agro-écologique des cultures horticoles. Enfin, au plan économique, les relations entre partenaires œuvrant pour l'agro-écologie ont été facilitées par la création d'un pôle fruits et légumes, regroupant l'Arifel et l'AROPFL[23].

Une démarche ordonnée et collective

La démarche collective et participative engagée dans les expériences agro-écologiques à la Réunion s'est déroulée selon une méthodologie ordonnée. L'approche s'est construite à des échelles spatiales élargies, qu'il s'agisse par exemple du cirque de Salazie, zone historique de production du chou chou à la Réunion, de la zone des Hauts de Petite-Île productrice de Cucurbitacées de plein champ, ou de la région de Saint-Gilles, bassin principal de production de mangues. De plus, les expériences se sont déroulées en plusieurs phases cohérentes dans le temps (tab. 7.3) :

- une première phase de partage collectif du diagnostic et de l'état de la situation, ainsi que de co-conception et de recherche et d'obtention de financement d'un projet en partenariat de recherche et développement ;
- une deuxième phase, sous la forme d'un projet en partenariat de recherche-développement de mise en œuvre sur le terrain, par les producteurs, des pratiques agro-écologiques proposées, avec un suivi rapproché par les acteurs agricoles ;
- une troisième phase, consistant au transfert des pratiques aux autres producteurs de l'île et à la mise en place de politiques publiques incitatives de soutien à la production agro-écologique des cultures.

Tableau 7.3. Différentes phases des expériences de protection agro-écologique des cultures à la Réunion.

Phases	Étape, contenu, activités	Cultures maraîchères (Cucurbitacées)	Cultures fruitières (manguier)
1. Pré-projet recherche et développement	Partage collectif du diagnostic et de la situation	2007-2008	2010-2011
	Co-conception d'un projet recherche et développement		
	Recherche de financement d'un projet recherche et développement (Compte d'affectation spéciale développement agricole et rural ou Casdar, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt)		
	Activités de recherche (cognitives et intégratives)		
2. Pendant le projet recherche et développement	Mise en œuvre des pratiques sur le terrain par les producteurs	2009-2011 (Gamour)	2012-2015 (Biophyto)
	Suivi et évaluation en partenariat		
	Bilan final et perspectives (séminaire)		
	Activités de recherche (cognitives et intégratives)		
	Formation, conseil et aide au		

3. Post-projet de recherche et développement	transfert	Depuis 2011	Depuis 2015
	Appui de l'extension par les politiques et les instruments publics		
	Activités de recherche (cognitives et intégratives)		

Parallèlement à ces phases, des actions de recherche ont été conduites en continu, afin d'apporter des connaissances nécessaires aux actions sur le terrain : écologie des bioagresseurs, biodiversité fonctionnelle, processus écologiques et agronomiques dans les systèmes de cultures, mise au point et efficacité des pratiques agro-écologiques, etc. Ces activités de recherche, constituées d'activités de description, de compréhension et d'aide à la gestion, se sont déroulées de manière simultanée et interactive, afin que chaque activité bénéficie aussi vite que possible des résultats des autres. De même, les échanges itératifs entre les activités de recherche et les pratiques sur le terrain des partenaires et des praticiens, ont permis d'améliorer l'efficacité des recherches et d'accélérer leur application.

Des outils d'aide au transfert et à la diffusion des pratiques

De nombreux outils d'aide au transfert, facilitant les actions sur le terrain des organismes de développement (chambre d'Agriculture, organisations professionnelles), ont été mis au point : guides et DVD techniques, supports audiovisuels, fiches d'identification (punaises, mouches des fruits et des légumes, auxiliaires des cultures), sites Internet, lettre d'information, support de formation universitaire CUQP/PAEC, actes des séminaires des projets Gamour et Biophyto, posters, etc.

À l'issue des projets Gamour et Biophyto, a également été mise en œuvre, depuis 2013, une formation diplômante au bénéfice des agriculteurs et des accompagnants agricoles. Ainsi, un certificat universitaire de qualification professionnelle (CUQP), intitulé « Protection agro-écologique des cultures », délivré par l'Université de la Réunion, co-organisé par l'institut universitaire de Technologie et par la chambre d'Agriculture, est dispensé par différents partenaires (Cirad, Armefflor, FDGDON, chambre d'Agriculture), sur une durée de 42 heures d'enseignement en cinq jours.

La formation est organisée chaque année depuis 2013 et déjà plus de 70 agriculteurs l'ont suivie. Les diplômés jouent ensuite le rôle de leaders sur le terrain et contribuent au transfert des pratiques agro-écologiques auprès de leurs collègues.

Des instruments du plan Écophyto

Plusieurs leviers de transfert créés entrent dans le cadre du plan national Écophyto. Les pratiques de protection agro-écologique des cultures sont d'autant plus efficaces qu'elles sont considérées à l'échelle d'un bassin de production. Dans cet esprit, deux projets collectifs ont été reconnus par les pouvoirs publics ; ils se sont concrétisés en deux groupements d'intérêt économique et environnemental : en 2016, dans le bassin de production de mangues à Saint-Gilles et, en 2017, dans le bassin de production de chou chou à Salazie. Ces groupements permettent d'aider techniquement et financièrement les agriculteurs de ces zones, pour qu'ils agissent collectivement dans une dynamique agro-écologique.

Les réseaux Dephy^[24] ferme, autre instrument du plan Écophyto, facilitent le transfert des innovations. Depuis 2015, un réseau Dephy ferme mangue a été mis en place. Les indices de fréquence de traitement de l'ensemble des exploitations du réseau ont considérablement diminué (- 43 % de 2012 à 2015). En 2016, il était constitué de 14 exploitations.

Sur la mangue également, le projet Biophyto a permis la création en 2015 de deux mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) pour inciter les producteurs à s'engager dans la protection agro-écologique des cultures fruitières : Lbio 1 visant à l'insertion de biodiversité dans les vergers et Couver 2 encourageant l'enherbement des cultures pérennes. Ces producteurs peuvent maintenant bénéficier d'une aide compensatoire annuelle de 880 €/ha ou de 700 €/ha en fonction de la mesure contractée, sur une durée d'engagement de cinq ans. Les vergers doivent pour cela présenter un enherbement total et un dispositif permanent de bandes fleuries d'une surface minimum de 500 m²/ha de verger (soit 5 %). Ces mesures agro-environnementales et climatiques contribuent à la vulgarisation des pratiques agro-écologiques, non seulement dans les vergers de manguiers de l'île, mais aussi dans les autres systèmes à base de productions fruitières (agrumes, papayes, bananes, etc.).

La promotion et le soutien à l'agriculture biologique

Les projets Gamour et Biophyto ont permis de montrer la compatibilité des pratiques de la protection agro-écologique des cultures avec l'agriculture biologique. Ainsi, non seulement la culture du chou chou a « redémarré » dans son fief historique, le cirque de Salazie, mais aussi la production biologique de chou chou s'est considérablement accrue. De même, sur le manguier, les pratiques agro-écologiques deviennent compatibles avec une conduite des vergers en agriculture biologique : les fongicides utilisés (pour lutter contre l'oïdium) respectent le cahier des charges correspondant. Aucune fertilisation minérale n'est apportée.

Le contexte et les politiques publiques incitent à soutenir l'agriculture biologique, mais des raisons socio-économiques inattendues ont aussi contribué à cet essor. Les pratiques agro-écologiques, moins onéreuses, ont ainsi apporté une simplification par rapport aux pratiques conventionnelles : arrêt des traitements insecticides et herbicides ; prophylaxie au moyen de l'augmentorium ; implantation et entretien d'une couverture végétale au sol ; apport d'amendements organiques. Elles permettent à la fois d'améliorer la santé du sol et la biodiversité.

Par ailleurs, le transfert aux agriculteurs de ces systèmes agro-écologiques a été soutenu par les pouvoirs publics et facilité par les partenaires du développement. Par exemple, la chambre d'Agriculture a apporté un appui logistique et humain important : une personne a été chargée de la mise en œuvre des systèmes agro-écologiques des systèmes maraîchers, une personne chargée de la promotion de l'agriculture biologique et une personne chargée d'assurer le *continuum* et le retour d'expérience « recherche-développement-transfert » dans le cadre du plan Écophyto.

En plus des aides à l'investissement, des mesures financières incitatives ont été proposées aux producteurs. Pour le chou chou, des aides compensatoires (complémentaires aux mesures agro-environnementales et climatiques) permettent de couvrir les frais de certification et une éventuelle perte de production qu'engendrerait la transition vers l'agriculture biologique :

- une aide à la conversion à l'agriculture biologique (de 1 800 à 2 700 €/ha/an pendant trois ans de conversion) ;
- une aide au maintien (de 900 à 1 800 €/ha/an).

En outre, des aides du programme d'options spécifiques à l'éloignement et à l'insularité (Poséi) sont des incitations pour les filières, comme le chou chou, à se structurer. Ces aides sont attribuées au kilogramme commercialisé (0,50 €/kg).

Les résultats de l'expérience agro-écologique sur le chou chou à la Réunion ont eu un fort impact sur l'essor de l'agriculture biologique sur cette île. L'accroissement de la production de la mangue « bio » profite de cette dynamique et des résultats du projet Biophyto. En 2015, le chou chou représente 97 % du volume de l'ensemble des légumes commercialisés en agriculture biologique à la Réunion. En 2017, plus de 60 % des surfaces cultivées en chou chou sont des surfaces certifiées Agriculture biologique. La moitié des surfaces restantes est en conversion vers l'agriculture biologique. Aujourd'hui, la Réunion est devenue le département d'outre-mer où la filière « bio » est la plus importante.

Leçons des expériences agro-écologiques réunionnaises

Les expériences de protection agro-écologique des cultures à la Réunion font partie des expériences pionnières conduites à grande échelle, en milieu producteur, au niveau national. On peut rappeler le caractère du contexte réunionnais. Il s'agit d'un département d'outre-mer, avec des caractéristiques locales spécifiques : physiques (insularité), climatiques (climat tropical), agricoles (canne à sucre, cultures horticoles), institutionnelles ou organisationnelles. Les acteurs agricoles sont directement soutenus par le Conseil régional, le Conseil du département, l'État, l'Europe, et ils bénéficient d'un appui rapproché des partenaires et des services techniques (recherche, institut technique, FDGDON, Anses, chambre d'Agriculture, Daaf...).

Malgré le contexte particulier de la Réunion, les résultats qui y ont été obtenus et les leçons qui en découlent présentent un grand intérêt générique, pour la conception et la mise en place, dans d'autres contextes, de futures expériences agro-écologiques.

Comment lancer des expériences agro-écologiques en milieu producteur ?

Les expériences réunionnaises permettent de lister, de manière non exhaustive, les conditions nécessaires, mais non suffisantes, au lancement d'expériences agro-écologiques à grande échelle :

- une sensibilisation et une motivation des acteurs agricoles, à commencer par les agriculteurs. Cette action est le fait de nombreux partenaires techniques, chacun avec ses moyens et outils (Armeflhor, FDGDON, chambre d'Agriculture, direction de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt...) ;
- un problème phytosanitaire rassembleur, soit parce qu'il débouche sur une impasse socio-économique ou environnementale, soit parce qu'il permet de faire un pas significatif vers l'adoption de pratiques agro-écologiques et d'accéder à des marchés nouveaux et porteurs ;
- des capacités de recherche, qui vont permettre de faire évoluer le périmètre et le contenu des recherches, dans l'objectif d'acquérir et de mieux intégrer des nouvelles connaissances scientifiques. Les études engagées dans les expériences réunionnaises soulignent par exemple la nécessité d'acquérir des connaissances dans les domaines de l'écologie du paysage, de l'agriculture biologique, de la biodiversité fonctionnelle (aérienne et du sol), etc. ;
- une synergie entre la recherche et le développement, afin de rassembler de manière cohérente les activités complémentaires des partenaires (recherche, expérimentation, formation, enseignement, conseil, transfert) ;
- un projet de recherche-développement fédérateur en partenariat, dont la préparation et le bon déroulement nécessitent plusieurs conditions (un partage collectif de la situation, la co-conception des programmes à mettre en œuvre, la coordination des actions par un organisme de transfert) ;
- l'adoption d'une démarche systémique et participative, aux bonnes échelles spatio-temporelles et selon des critères revisités, prenant en compte par exemple la durabilité écologique des agroécosystèmes ;
- l'accompagnement par les pouvoirs publics, avant et pendant la période de transition agro-écologique.

Les déterminants de l'adoption des pratiques agro-écologiques

L'analyse fine des déterminants de l'adoption des innovations de protection agro-écologiques à la Réunion fait l'objet d'une étude en cours. Nous en donnons ci-dessous les principaux enseignements. Rappelons que l'adoption des pratiques de protection agro-écologique des cultures en

milieu producteur peut être qualifiée de bonne pour le chou chou et la mangue, et de médiocre pour les Cucurbitacées de plein champ.

La stratégie « d'investissement » dans les pratiques agro-écologiques est plus facile dans des systèmes de cultures pérennes. Si l'on apparente la culture du chou chou sous treille à une culture pérenne, comme la culture de la mangue, les producteurs de chous chous et de mangues sont motivés à l'idée de mettre en place des pratiques agro-écologiques telles que la prophylaxie ou la couverture du sol. On sait effectivement que ces pratiques sont plus efficaces, mais sur un pas de temps plus long que le simple cycle annuel de culture. Les producteurs de courgette n'ont pas cette motivation puisque le choix de planter une parcelle résulte de raisonnements très conjoncturels (cours du marché) ; la localisation de la parcelle plantée peut changer d'un cycle à un autre ; l'état sanitaire de la parcelle plantée dépend de l'état sanitaire des autres parcelles voisines de courgette.

Lorsque les pratiques agro-écologiques simplifient l'itinéraire technique (suppression des traitements insecticides et herbicides), leur adoption est aussi facilitée. C'est le cas pour le chou chou et la mangue. À l'inverse, la conduite de la culture de courgette est plus exigeante (anticipation, suivi régulier, plantation des plantes pièges [bordures de maïs] un mois avant la plantation de la courgette) ; il est alors difficile de planifier, ou d'effectuer des traitements complémentaires avec des appâts adulticides (constitués de 99,9 % de protéines et de 0,01 % d'un insecticide biologique).

Par ailleurs, la typologie des agriculteurs apparaît comme déterminante pour l'adoption des innovations. Les producteurs de chous chous ou de mangues sont rassemblés dans des bassins de production, ils se connaissent, échangent et discutent ensemble. L'agriculture est leur activité centrale et ils sont régulièrement formés. Ils sont ouverts à une gestion collective dans les bassins de production (comme cela est le cas dans les groupements d'intérêt économique et environnemental) et visent à terme une production écologique et saine. Les producteurs de courgette ont un profil différent. On en recense près de 2 000 à la Réunion et, pour beaucoup, l'agriculture est une activité parmi d'autres. Ces producteurs sont très réactifs et répondent opportunément aux éléments de contexte (météo, cours du marché, emploi du temps...), dans le but de rentabiliser au plus vite un cycle de culture, par des moyens conventionnels sans surprise ; ces producteurs maraîchers souvent isolés communiquent peu

entre eux et sont moins formés et ouverts à l'agro-écologie.

Enfin, trois autres déterminants contribuent à expliquer les différences d'adoption entre, d'une part, le chou chou et la mangue, et, d'autre part, la courgette :

– le marché. Le chou chou et la mangue sont des fruits et légumes très consommés sur le marché local. Leur culture est rentable et le fait d'adopter des pratiques agro-écologiques, souvent compatibles avec l'agriculture biologique, permet d'accéder à des marchés nouveaux, plus rémunérateurs (circuits courts, agriculture biologique, exportation). Ce n'est pas le cas de la courgette, dont la culture dépend avant tout du cours du marché. D'une année à l'autre, ou d'un trimestre à l'autre, selon ce cours du marché, le maraîcher préférera planter de la carotte ou de la salade ;

– la valeur patrimoniale. Le chou chou et la mangue sont des cultures traditionnelles, dont la production est consommée quotidiennement (toute l'année pour le chou chou, pendant la période de production pour la mangue). Ce n'est pas le cas de la courgette ;

– l'incitation à la production en agriculture biologique. Les politiques de soutien à l'agriculture biologique ont montré leur efficacité sur le chou chou. La production de cette culture est appelée à devenir 100 % bio, alors qu'il y a dix ans, les treilles recevaient des traitements insecticides une à deux fois par semaine.

Communiquer sur les pratiques agro-écologiques réunionnaises


Le développement des systèmes de cultures agro-écologiques est en voie d'être valorisé dans le cadre d'un programme de recherche-action filmique et multimédia, porté par le Cirad (UMR PVBMT) et l'université d'Aix-Marseille (laboratoire en Sciences des arts). Ce programme vise à décrire, partager, comprendre et contribuer à mettre en œuvre des actions de recherche interdisciplinaire sur les pratiques de protection agro-écologique des cultures à la Réunion. Il est à l'interface des sciences écologiques et agronomiques, des sciences sociales et des sciences filmiques. Différents supports audiovisuels sont programmés dans cette démarche innovante : courts-métrages, modules d'enseignement de formation ou de sensibilisation, documentaires de télévision, web documentaires, etc. Ces supports sont destinés à différents publics (grand public, acteurs agricoles),


contribuant ainsi à faire connaître l'agro-écologie et à participer aux réflexions sociétales sur les pratiques agricoles du XXI^e siècle.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des participants aux expériences agro-écologiques, en particulier aux projets Gamour et Biophyto. Ils sont trop nombreux pour être tous cités ici, mais ils ont tous œuvré pour le développement de l'agro-écologie à la Réunion. Une mention particulière est adressée aux producteurs ayant participé à ces expériences. Les remerciements s'adressent aussi aux nombreux collègues partenaires qui sont intervenus de près ou de loin dans ces expériences. Les auteurs remercient également le pôle de Protection des plantes (3P, Ibisa, Saint-Pierre), où des expérimentations de laboratoire ont été effectuées, en complément des études en milieu producteur. L'ensemble des travaux a reçu des contributions financières de nombreux bailleurs, des organismes partenaires, du Cirad, du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Forêt (notamment à travers les projets Casdar Gamour et Biophyto et les instruments du plan Écophyto), de l'Union européenne *via* le Feder (Fonds européen de développement économique régional) et le Feader (Fonds européen agricole pour le développement rural), du conseil régional de la Réunion et du conseil départemental de la Réunion.

Références

Deguine J.-P., Atiama-Nurbel T., Aubertot J.N., Augusseau X., Atiama M., Jacquot M., Reynaud B., 2015. Agroecological management of cucurbit-infesting fruit fly management: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (3), 937-965, <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0290-5> .

Deguine J.-P., Gloanec C., Laurent P., Ratnadass A., Aubertot J.N., eds, 2017. *Agroecological Crop Protection*, Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, Pays-Bas, 280 p., <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1185-0> .

Deguine J.-P., Jacquot M., Allibert A., Chiroleu F., Graindorge R., Laurent P., Albon B., Marquier M., Vanhuffel L., Vincenot D., Aubertot J.N.,

2018. Agroecological protection of mango orchards in Réunion. *Sustainable Agriculture Reviews*, 28, 249-307.

Gloanec C., Deguine J.-P., Vincenot D., Jacquot M., Graindorge R., 2016. Applications en cultures fruitières : L'expérience Biophyto. *In : Protection agro-écologique des cultures* (J.-P. Deguine, C. Gloanec, P. Laurent, A. Ratnadass, J.N. Aubertot, eds), éditions Quæ, Versailles, 97-126.

Técher K., Dijoux A., Gloanec C., Danflous J.P., Guignard I., 2015. La question de la valorisation commerciale pour une culture de mangue en protection agro-écologique des cultures. *In : Biodiversité et protection agro-écologique des cultures* (J.-P. Deguine, C. Gloanec, T. Schmitt, eds), Actes du séminaire Biophyto Saint-Pierre, 21-24 octobre 2014, la Réunion, chambre d'agriculture de la Réunion, Saint-Denis, la Réunion, 25.

CHAPITRE 8

L'accompagnement de la transition agro-écologique dans les systèmes agroforestiers d'Amérique centrale

Bruno Rapidel, Jean-François Le Coq, Elias de Melo, Jacques Avelino, Sandrine Freguin-Gresh

Depuis son introduction et son expansion au cours du xx^e siècle, le caféier est devenu non seulement une source essentielle de l'équilibre de la balance commerciale de certains pays d'Amérique centrale (Nicaragua, Honduras), mais aussi une culture identitaire (Tulet, 2008) et un enjeu de pouvoir (Demyk, 2007).

Les modes de production diffèrent selon les pays, mais majoritairement la production est issue de petits producteurs. En général, d'une part, le caféier est cultivé sur de fortes pentes et, d'autre part, les travaux de récolte manuelle sont à l'origine de flux migratoires saisonniers importants entre les pays, en particulier depuis le Nicaragua (Baumeister *et al.*, 2008).

Les structures institutionnelles du secteur sont également diverses : cela va des instituts du café, représentant l'ensemble de la filière nationale (comme l'Icafe au Costa Rica) ou seulement les producteurs (comme Anacafé au Guatemala), à des situations de gouvernance moins forte, comme au Nicaragua. Les niveaux d'intervention et d'appui de l'État sont également divers selon les pays.

Là encore, quelques tendances générales émergent toutefois : une simplification globale des systèmes de culture évoluant de systèmes agroforestiers complexes peu intensifs (en capital, en main-d'œuvre), comme c'est encore largement le cas au Nicaragua, vers des systèmes combinant moins d'espèces végétales et gérés de manière intensive, comme au Costa Rica ou au Guatemala (Jha *et al.*, 2014) ; une grande sensibilité aux cours mondiaux du café, qui, dans ces systèmes pérennes, se manifeste d'abord par des évolutions des pratiques de culture, et à moyen terme par des réductions lentes des superficies au profit d'autres productions agricoles déterminées en fonction des lieux, des stratégies des exploitants et des coûts d'opportunité de la terre agricole et du travail.

Ce chapitre vise à analyser comment la recherche agronomique conduite en Amérique centrale dans le cadre du dispositif de recherche et d'enseignement en partenariat (PCP AFS-CP) mis en place en 2007 par le Cirad, le Catie (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, une organisation de recherche, d'enseignement et de développement) et leurs partenaires régionaux et internationaux, accompagne la caféiculture centraméricaine face aux défis actuels du secteur, et en particulier, ceux de la transition agro-écologique.

Les contraintes et les opportunités des systèmes caféiers

Le caféier Arabica (*Coffea arabica*) est une plante originaire des forêts sèches des hauts plateaux de la Corne de l'Afrique, qui est donc adaptée à certaines conditions d'altitude et de pénombre forestière. Sa culture en plein soleil est toutefois possible, et, depuis son expansion en Amérique centrale au milieu du XIX^e siècle, les systèmes caféiers ont évolué dans une large gamme de conditions, depuis une culture sous des arbres forestiers ou plantés jusqu'à des systèmes de monoculture de plein soleil (Samper, 1999). Ces changements de pratiques culturelles ont été favorisés par les

politiques publiques, en particulier par celles des années 1940-1960 qui ont soutenu l'expansion de grandes exploitations aux mains des élites politiques et économiques et d'investisseurs étrangers (italiens, allemands, nord-américains, anglais, etc.), lesquels ont en même temps entraîné dans leur sillage l'installation de petits planteurs qui leur fournissaient une main-d'œuvre indispensable. Actuellement, la production caféière en Amérique centrale est essentiellement passée aux mains de ces petits et moyens producteurs.

Les tensions qui pèsent sur la caféiculture sont de plusieurs sortes (fig. 8.1). Il y a d'abord des conditions externes, avec deux déterminants importants des choix techniques que sont les prix internationaux et le changement climatique. Ces conditions agissent sur les grands enjeux de la gestion des plantations caféières. Ces plantations sont reconnues comme des refuges de biodiversité. Cependant, elles sont aussi des enjeux de tensions pour la diminution d'utilisation de produits phytosanitaires ; d'une manière plus générale, leur durabilité, incluant les volets environnemental, social et économique est l'objet de controverses. Les activités de recherche que nous avons menées sur ces enjeux, leurs connexions et leur relation à la conception de systèmes agroforestiers apparaissent sur la figure 8.1.

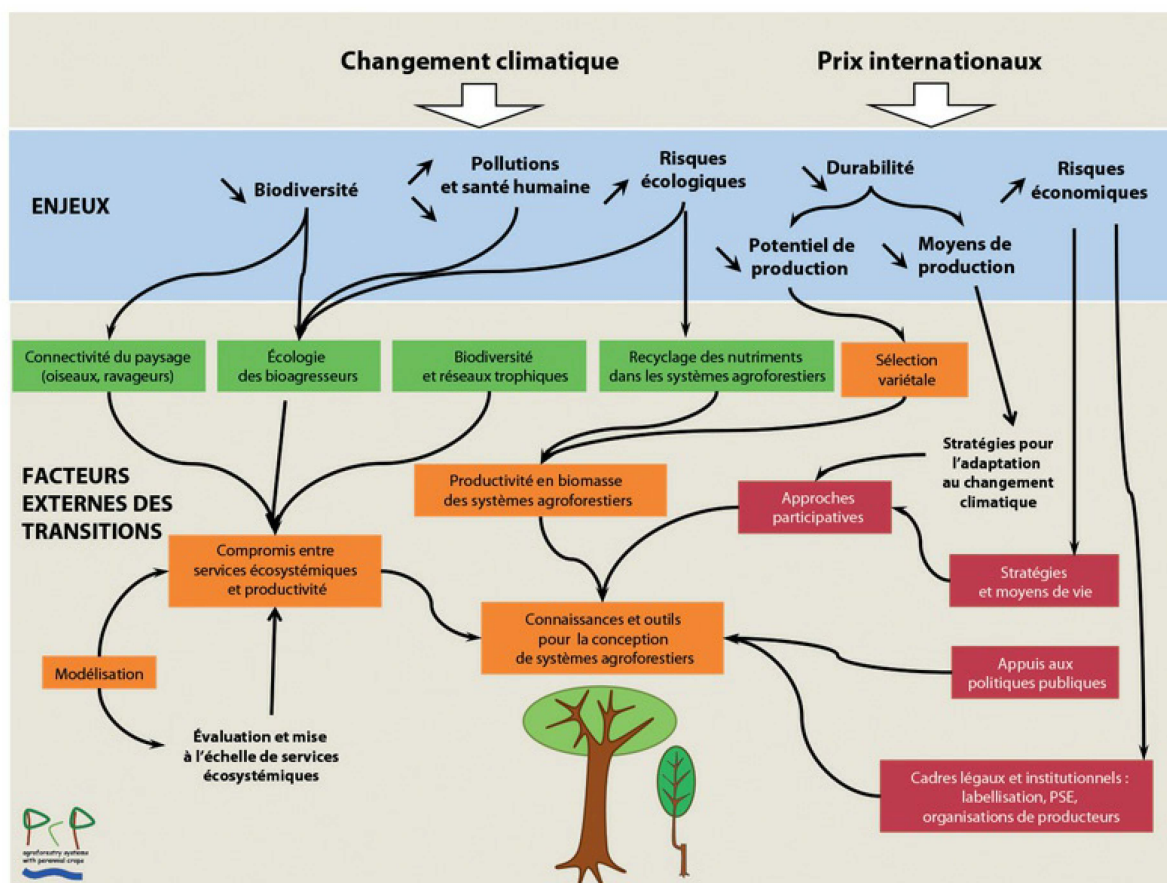


Figure 8.1. Les approches scientifiques pluridisciplinaires du PCP AFS-CP d'accompagnement de la transition des systèmes agroforestiers à base de caféier.

Les activités de recherche décrites sont indiquées selon les champs disciplinaires dominants éventuels : écologie (cadres verts), agronomie (cadres bruns) ou sociologie et économie (cadres rouges).

À partir de 1998, le cours international du café a durablement chuté, largement au-dessous des coûts de production en Amérique centrale (fig. 8.2). Or, les options pour réduire les coûts de production sont limitées : en particulier, la mécanisation est difficile du fait de la topographie, les plantations étant généralement situées en montagne dans des zones pentues, alors que le principal poste de dépense est la main-d'œuvre pour la récolte. Des stratégies se sont mises en place, entre le milieu des années 1990 (première crise des cours) et le début des années 2000 (seconde crise), fondées sur la reconnaissance de la qualité extrinsèque de la production (liée aux conditions de production, sociales mais aussi environnementales, donnant une impulsion importante à l'agro-écologie) et intrinsèque (qualité à la tasse).

La longue crise des cours du café ne s'est résorbée franchement qu'à la fin

des années 2000, avec un cours atteignant un pic haut en 2011. Or, l'augmentation des prix payés aux producteurs a eu des effets contradictoires sur l'adoption de pratiques encouragées par les labels, l'accent économique étant alors mis sur la quantité de production plus que sur la qualité intrinsèque ou extrinsèque. Ainsi, le premium moyen obtenu par le café originaire du Costa Rica (lié à la réputation générale de l'origine sur le marché global), ainsi que le prix minimum garanti dans le cadre du commerce équitable, peuvent être comparés à l'évolution des prix (fig. 8.2). On comprend bien qu'au tournant de la décennie, les producteurs voulant recapitaliser après presque dix années de prix très bas ont cherché à maximiser leur production sans contrainte de système de culture. Depuis 2012 toutefois, les cours sont moins favorables et les stratégies de promotion de la qualité de café reprennent de l'importance.

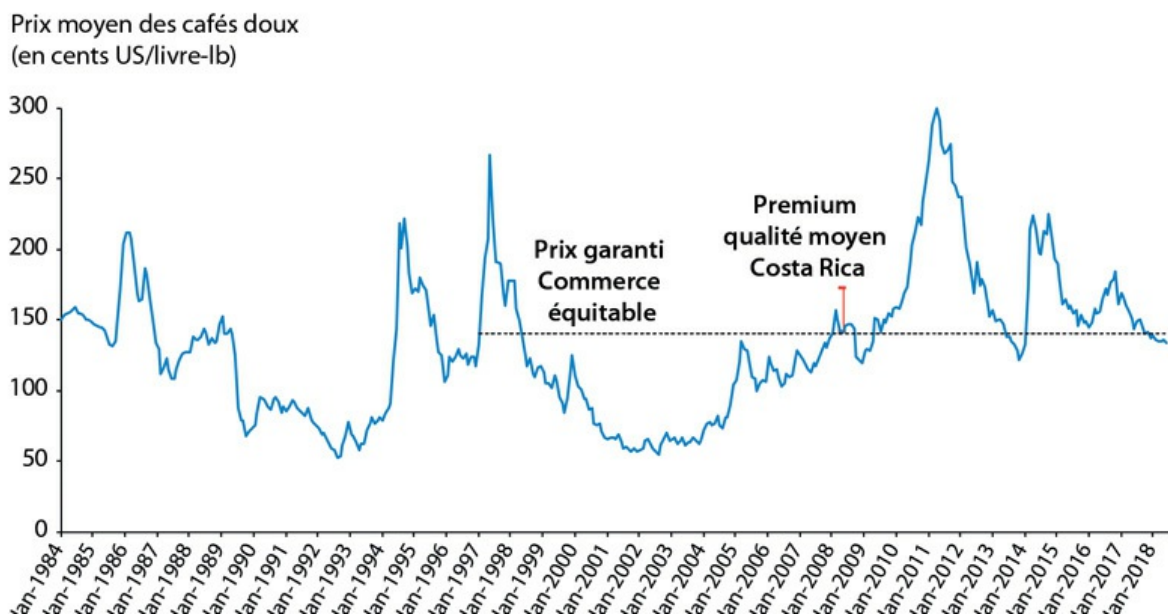


Figure 8.2. Evolution du prix du café à la bourse de New-York (ICO) (Sources : www.ico.org, www.fairtrade.net, icafe.cr).

En outre, le changement climatique est une autre source de tensions : l'Amérique centrale produit très majoritairement du café Arabica, et ces caféiers sont sensibles à la température. La hausse des températures attendue pourrait rendre les terres de production en basse altitude impropres à la production, diminuant globalement les terres disponibles pour cette culture et renforçant les situations de compétition avec les aires protégées (Jha *et al.*, 2014). Ces changements se traduisent par des pressions phytosanitaires plus importantes, comme à l'occasion de l'explosion récente de l'épidémie de rouille orangée, en partie liée au changement climatique (Avelino *et al.*, 2015). L'agro-écologie, et en

particulier l'introduction d'arbres dans les plantations, est perçue comme une possibilité de pallier ces évolutions en tamponnant les variations diurnes de températures des feuilles de caféier.

À ces tensions externes s'ajoutent des évolutions internes. Les ressources naturelles se dégradent, notamment l'eau (pollution chimique et organique attribuée à l'utilisation de produits agrochimiques et aux rejets des résidus de culture et des eaux de transformation du café) et le sol (érosion, glissements de terrain, diminution de la couche superficielle de sol utilisable pour les cultures, tassement des sols, etc.). L'arbre disparaît dans le paysage, aussi bien à cause de la déforestation ou d'un abattage dans les parcelles, lors d'un changement d'utilisation des terres et/ou d'un changement de variétés de caféiers, ou encore en raison d'une gestion différente de l'ombrage. Ces évolutions ne sont pas nouvelles, mais elles sont ressenties de plus en plus négativement par les populations, citadines et rurales, et les organisations de protection de l'environnement locales sont de plus en plus influentes. À ceci s'ajoutent des difficultés socio-économiques, en particulier les conditions de pauvreté d'un grand nombre de producteurs, parfois associées à l'insécurité alimentaire, aggravées par les variations des cours du café et les problèmes phytosanitaires, qui rendent difficile l'investissement productif.

Les stratégies de recherche en réponse à ces pressions et à ces évolutions sont schématisées aussi sur la figure 8.1, et ont mobilisé des disciplines variées.

Les apports de la recherche pour favoriser la transition agro-écologique des systèmes caféiers

Solutions techniques pour la fourniture de services écosystémiques

Les plantations caféières d'Amérique centrale couvrent un million d'hectares, avec une très forte diversité des systèmes de production, depuis des plantations en plein soleil qui ont appliqué toutes les recommandations d'intensification conventionnelle promue par la révolution verte, jusqu'à

des agroforêts à faible intensité de gestion et faible productivité. Avec un objectif de promotion des services écosystémiques que ces systèmes peuvent fournir à la société, les voies d'amélioration ont concerné les deux grandes voies de l'agro-écologie décrites classiquement (Griffon, 2013) : une voie de diversification de systèmes simples (plantations caféières en plein soleil sous l'ombrage d'une plante de service) et une voie d'intensification de systèmes complexes (agroforêts, dans lesquelles des caféières sont gérées de manière plus ou moins extensive à l'ombre d'une grande diversité d'arbres, souvent vestiges des forêts originelles).

Ces systèmes agroforestiers, qui associent pour l'essentiel des plantes pérennes, sont complexes ; du fait de l'association même, mais aussi du fait des pas de temps considérés. Par exemple, les interactions entre les racines des espèces que nous pourrions observer sur une plantation de dix ans dépendent pour partie des conditions d'installation de l'association dix ans auparavant, par exemple si une espèce a été installée avant une autre et a pu explorer librement un volume de sol. Cette complexité rend plus difficile l'établissement de règles génériques.

Pour pouvoir apporter des éléments utiles à la conception de systèmes agroforestiers, nous avons étudié les services écosystémiques fournis, les relations entre ces services, et les conditions nécessaires à la fourniture des services, bien entendu dans le contexte de la présence d'arbres dans les plantations. Les divers types de services, définis par le *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), ont ainsi été étudiés :

- les services d'approvisionnement, et en premier lieu la productivité en café (Bhattarai *et al.*, 2017), mais aussi la productivité comparée des différents types de produits extraits des plantations, vendus ou non ;
- l'approvisionnement en eau des nappes, avec un bilan à faire entre les effets contradictoires des systèmes agroforestiers, dans lesquels la présence des arbres augmente en général la consommation en eau, mais aussi améliore l'infiltration des eaux de pluies (Padovan *et al.*, 2018) ;
- les services de régulation climatique, avec des travaux sur la séquestration de carbone dans les systèmes agroforestiers, mais aussi les émissions des autres gaz à effets de serre (Hergoualc'h *et al.*, 2012) ;
- la régulation des bioagresseurs dans les systèmes agroforestiers, avec des études détaillées des effets des associations sur l'épidémiologie de certaines maladies, comme la rouille orangée du caféier (Lopez *et al.*, 2013 ; Boudrot *et al.*, 2016), mais aussi sur les complexes de bioagresseurs qui attaquent le caféier et interagissent entre eux (Allinne *et al.*, 2016) ;

– les services de support, en particulier le recyclage des nutriments (très fortement modifié par la présence des arbres d’ombrage et l’enracinement des arbres et du caféier dans les profils de sols ; Padovan *et al.*, 2015), la production de biomasse et le recyclage de la biomasse, éléments fondamentaux de la vie des écosystèmes agro-écologiques (Defrenet *et al.*, 2016).

De ces évaluations des services fournis par les systèmes agroforestiers, on retire d’abord une idée de grande complexité et une difficulté à extraire de cette complexité des principes génériques d’action. En particulier, la recherche de synergies entre la productivité et les services écosystémiques liés à la protection de l’environnement est difficile. Si la biodiversité est bien à la base des services fournis, son utilisation reste complexe à raisonner localement, et surtout les bonnes pratiques sont difficiles à extrapoler du fait d’interactions nombreuses. Et les grandes hypothèses de l’écologie ne fournissent que peu de pistes pour l’élaboration de règles génériques à appliquer à ces systèmes très anthropisés.

Plusieurs voies d’innovation ont été étudiées avec les producteurs, et dans des essais de longue durée (fig. 8.3). Pour suivre l’objectif d’augmenter la présence et la diversité des arbres dans les plantations, les pratiques actuelles les plus courantes consistent à cultiver les plantations caféières en association avec des arbres de service, du genre érythrine (*Erythrina* spp., photo 8.1), ou certaines espèces d’*Inga*. Ces arbres, presque uniquement destinés à fournir de l’ombre, peuvent être « gérés » relativement finement en fonction des besoins des caféiers, et de la fixation d’azote. Mais ils ne procurent généralement aucun revenu additionnel, hormis certaines espèces d’*Inga* dont les résidus de coupe peuvent servir de bois de chauffe, essentiel dans certains pays de la région.

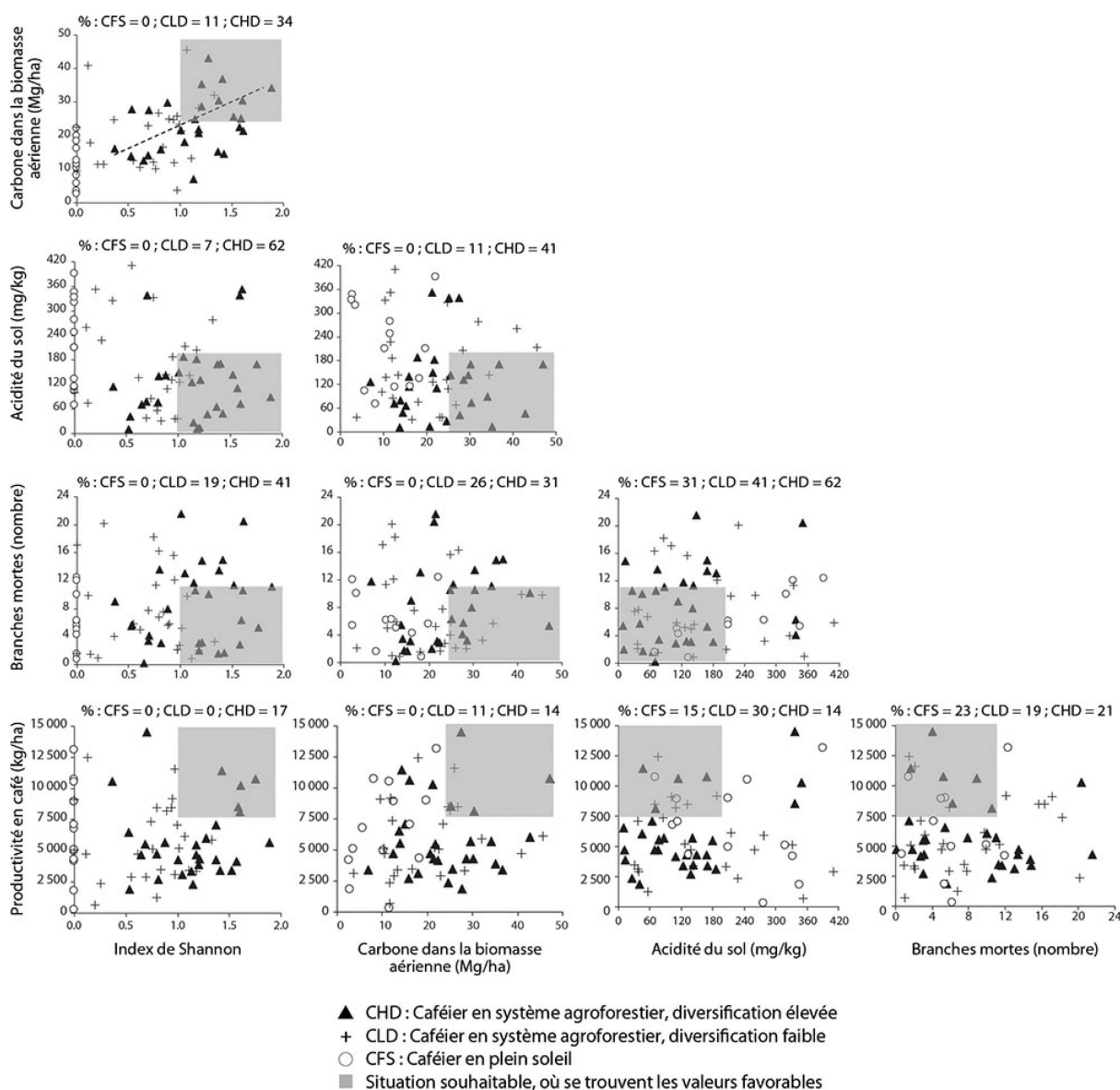


Figure 8.3. Relations entre services écosystémiques fournis par les plantations caféières en fonction de leur niveau de diversité (Costa Rica, Cerda *et al.*, 2017).

On a testé le remplacement de ces espèces par des essences forestières de production de bois d'œuvre (photo 8.2 ; Hagggar *et al.*, 2011). Les revenus générés peuvent être importants, notamment à des moments de vulnérabilité particulière des planteurs, comme en cas de forte baisse des prix du café ou de rénovation totale de la plantation (Beer *et al.*, 1998). Cette stratégie a été mise à l'épreuve au Honduras, qui a mis en place des plantations agroforestières de caféier à l'échelle nationale. La productivité du bois a été évaluée sur ces parcelles (Jiménez *et al.*, 2012) et, comme on l'avait supposé, les productivités par arbre sont supérieures aux productivités mesurées en plantations forestières (moins de compétition pour la lumière du fait des faibles densités, et effets de la fertilisation

apportée au caféier). Les compromis avec la productivité en café n'ont pas été évalués, à notre connaissance. Mais si les performances biologiques de cette innovation semblent correctes, ses performances économiques sont controversées. Il semble que la valorisation du bois produit est plus difficile qu'escompté, en partie car la qualité du bois serait moindre avec des fûts moins droits, mais aussi car la filière bois est très différente de la filière café et il n'est pas facile pour un producteur de café de négocier la vente de son bois. Toutefois, les politiques de lutte contre la déforestation et le renforcement des contrôles sur l'origine des bois (et dans certains cas la certification) peuvent stimuler la demande de bois d'œuvre cultivé. Enfin, la poursuite de la production de café sous des arbres adultes demande un élagage périodique des arbres, en plus des éclaircissements. Cet élagage pose des problèmes technologiques et de quantité de travail considérables (photo 8.3) même si des systèmes de coupe mécanisée sont en cours de test.



Photo 8.1. Plantation de caféier typique de la région de Tarrazú, Costa Rica : fortes densités de caféier sur des terres en pente, complanté d'érythrines (*E. poeppigiana*) fortement rabattues et de quelques bananiers. © Bruno Rapidel / Cirad.

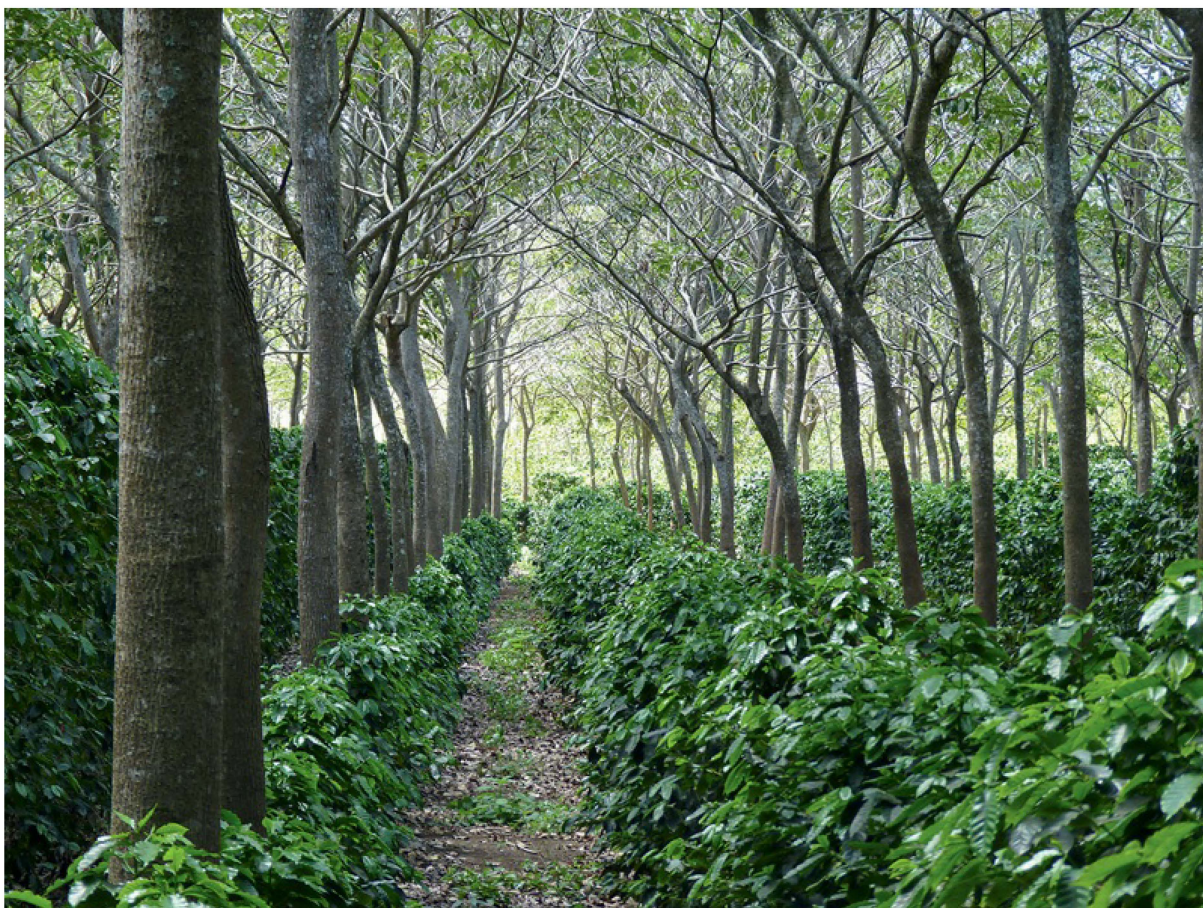


Photo 8.2. Plantations expérimentales de caféier dans l'État de Veracruz au Mexique, sous ombrage d'un arbre à bois (*Acrocarpus fraxinifolius*). © Bruno Rapidel / Cirad.



Photo 8.3. Travail d'élagage d'arbres d'ombrage au Nicaragua : le producteur, perché sur des fourches de l'arbre, doit s'assurer lui-même, mais aussi les branches pour ne pas abîmer les caféiers lors de leur chute. © Bruno Rapidel / Cirad.

Une autre stratégie a consisté à promouvoir la diversification des essences plantées comme espèces d'ombrage. Cette stratégie, largement promue par plusieurs labels (*Rainforest Alliance*, *Bird Friendly*), produit des systèmes très divers dans les essences choisies et dans les densités pratiquées. Cependant, les études montrent généralement qu'il y a des marges de manœuvre encore disponibles pour produire des faisceaux de services

écosystémiques sans que les facteurs limitants (co-limitations mutuelles) ne soient atteints (Cerdea *et al.*, 2017). Cette stratégie s'observe aussi sur le terrain avec l'association d'espèces fruitières, lorsque les filières sont organisées : en particulier des bananiers-dessert fréquemment associés aux caféiers, à des densités très variables, depuis une couverture presque continue du caféier dans certaines régions du Nicaragua (photo 8.4) jusqu'à quelques dizaines de plants par hectare dans d'autres cas. Le revenu généré par la production de bananes, distribué tout au long de l'année, complète les revenus du café, concentrés sur les deux mois de la récolte. Cette diversification s'observe aussi avec d'autres espèces fruitières, plantées à moindre densité et plus variées. Les fruits produits sont généralement autoconsommés par la famille, participant à la diversification de sa diète alimentaire (Cerdea *et al.*, 2014 ; Notaro, 2014).



Photo 8.4. Plantation caféière à La Dalia, Nicaragua, sous ombrage simple : système agroforestier associant caféier et bananier, une bonne complémentarité économique. © Bruno Rapidel / Cirad.

Des stratégies de gestion adaptative des plantations ont également été mises en œuvre, afin que la gestion de celles-ci suive l'évolution de

l'environnement biophysique ou socio-économique, en cours ou à venir. À court terme, en particulier pour mieux profiter de périodes de prix du café élevé, elles consistent à adapter la taille du caféier et celle des arbres d'ombrage[25]. À moyen terme, on peut aussi ajuster la fertilisation de la plantation en fonction de la gestion de l'ombrage : lorsque les prix sont élevés, on réduit l'ombrage, et on augmente en même temps la fertilisation ; lorsque les prix diminuent, un ombrage plus dense permet d'augmenter le recyclage des nutriments, mais aussi de diminuer la production et les coûts de production. Les résultats de ces stratégies ne sont pas encore analysés, mais elles sont déjà pratiquées par certains producteurs.

Enfin, d'autres stratégies, complémentaires, consistent à se concentrer sur le caféier, plutôt que sur les arbres d'ombrage. Jusqu'à maintenant, les variétés de caféier ont été sélectionnées dans des conditions d'ombrage très faibles ou en plein soleil. Certaines de ces nouvelles variétés — par chance — se sont bien comportées dans des conditions d'ombrage élevé (Bertrand *et al.*, 2010). Ce n'est que récemment que des programmes de sélection ont été initiés, avec comme objectif de proposer des variétés qui soient spécifiquement adaptées aux conditions des systèmes agroforestiers (voir Bertrand *et al.*, chap. 9 dans cet ouvrage). Mais l'investissement supplémentaire que requiert l'achat de plants issus de ces nouvelles semences, parfois hybrides, décourage souvent les petits agriculteurs.

Mieux comprendre et accompagner l'innovation

Les innovations techniques présentées ci-dessus ont différentes origines : certaines ont été directement proposées par la recherche, en particulier l'usage d'espèces d'ombrage qui génèrent des produits marchands ou des services rémunérés, mais beaucoup viennent soit du milieu de la production, soit des opérateurs économiques (comme la diversification des espèces d'ombrage initiée par *Rainforest Alliance*). Selon le contexte, les modes d'accompagnement à l'adoption de ces innovations sont adaptés.

Localement, plusieurs démarches ont été mises en place pour encourager la réflexion des producteurs de café sur leurs pratiques et les voies pour les améliorer. Au Costa Rica et au Nicaragua, après une phase de caractérisation, puis d'étude de la diversité des pratiques de gestion des plantations de caféiers (Meylan *et al.*, 2013), nous avons entrepris de

modéliser le choix et les effets des pratiques. L'objectif est d'intégrer l'ensemble de la diversité des questions techniques issues de groupes d'agriculteurs homogènes dans la structure de l'exploitation et le choix des pratiques. Cette démarche conceptuelle a permis de conduire les producteurs à imaginer des solutions aux problèmes qu'ils rencontraient, mais aussi d'envisager l'évolution de leurs pratiques en réponse à différents instruments d'action publique. Bien que le modèle utilisé puis modifié n'ait pas été conçu pour cela et ne prenait pas en compte tous les processus nécessaires, il a permis, après un apprentissage progressif, de faire interagir des producteurs sur la base de processus techniques qu'ils ne pouvaient pas observer par eux-mêmes (minéralisation de la matière organique, fixation symbiotique de l'azote de l'air). Ce modèle a finalement joué le rôle attendu : celui de représenter des interactions dans le système de culture et de mener des expérimentations virtuelles à l'initiative des producteurs ; il a aussi été un support d'échanges entre les chercheurs et les producteurs, un outil de formation, et a permis de proposer des expérimentations pour la suite, comme illustré dans le tableau 8.1 (Meylan, 2012).

Tableau 8.1. Quelques exemples des résultats des ateliers de simulation participative des effets des pratiques culturales en caféier sur la productivité (en tonnes de cerises), le cycle de l'azote et l'érosion (Llano Bonito, Tarrazú, Costa Rica ; d'après Meylan, 2012).

Groupe de producteurs	Pratiques initiales	Modifications testées	Résultats des simulations	Évaluation critique des résultats du groupe producteur
Peu intensifs	2 × 60 kg N/ha/an 60 % taille de l'ombrage (en moyenne) en mai et octobre	40, 46 et 60 kg N/ha/an Taille de l'ombrage en mars (augmentée à 80 %) et septembre	Productivité augmentée de 4,15 à 5,26 t/ha/an (moyenne sur 7 ans) Indice de couvert foliaire (LAI) ombrage plus faible, mais LAI caféier plus élevé Ruissellement	Intérêt pour productivité supérieure mais crainte du surcoût des fertilisants Absence de conviction l'intérêt diminué l'ombrage (moins d'ombrage)

			plus élevé au début, plus faible ensuite N minéral plus élevé ($\approx \times 2$)	d'ombrage fatiguer les plants à longue échéance
Intensifs en travail	82/82/58 kg N/ha/an 300 arbres/ha taillés en juin, septembre et novembre	58/58/58/58 kg N/ha/an Taille des arbres 2 fois / an (3 sem. avant la floraison, puis en août) pendant une année « El Niño »	Productivité augmentée de 7,25 à 7,57 t/ha/an en moyenne sur 7 ans LAI ombrage plus élevé, mais coupé juste avant la floraison Application tardive de fertilisant, favorisant la croissance des cerises de café	Essais logiques envisagés d'application de fertilisants plus réduits et de fréquence de taille de l'ombrage
Ombrage dense	3 × 83 kg N/ha/an 800 arbres/ha taillés 3 fois /an, à 40 %	66, 50 et 83 kg N/ha/an Première taille de l'ombrage 3 semaines avant floraison du caféier 600 arbres d'ombrage/ha taillés à 50 %	Productivité augmentée de 7,22 à 7,41 t/ha/an Érosion pas significativement plus élevée N minéral plus élevé	Essais envisagés diminuer fertilisants sur la base des résultats des simulations
Intensifs en intrants	3 × 75 kg N/ha/an Ombrage taillé à 70 %, 3 fois / an	4 × 50 kg N/ha/an Taille de l'ombrage réduite à 60 %, 2 fois / an	Productivité augmentée de 6,96 à 7,20 t/ha/an en moyenne Érosion du sol diminuée N minéral plus	Essai envisagé fractionner fertilisants tout en maintenant les quantités totales Manque l'effet de condition

			(significatif)	climatiq sur le ta minérali N
--	--	--	----------------	--

Les labels, mentionnés comme éléments de promotion de l'agro-écologie participent également à son accompagnement. Très souvent, pour les petits producteurs, la contractualisation et l'administration de ces labels sont faites par les coopératives, qui dressent les registres et communiquent avec les certificateurs. Dans certains cas, des certifications multiples sont pratiquées (*Fairtrade* et *Starbucks Café Practice*, par exemple) avec une partie seulement de la production vendue sous un des labels. Les coopératives, qui établissent les registres de certification, sont aussi en charge de vérifier que les pratiques agricoles et sociales correspondent bien aux labels, et, surtout, de former les producteurs à ces pratiques. Ce rôle des coopératives comme courroie de transmission entre des entreprises de certification et des petits producteurs (rôle de *broker*) est essentiel et permet que ces labels aient effectivement un effet positif sur la transition agro-écologique ; les techniciens des coopératives assurent un rôle que les producteurs n'ont pas le temps d'assumer, sans doute de manière plus efficace, réduisant les coûts de transaction de la certification. Cependant, on se rend compte que beaucoup de labels certifient des activités déjà existantes et ne participent guère à une évolution des pratiques : on recherche souvent une certification *Fairtrade* parce qu'on sait qu'on en respecte déjà les critères (Quispe, 2007). Certains labels, toutefois, qui certifient des orientations agro-écologiques avec des critères parfois jugés insuffisamment rigoureux, ont à cœur de promouvoir la modification graduelle des pratiques vers des standards d'autant plus exigeants que le producteur est certifié depuis longtemps. C'est le cas par exemple de *Rainforest Alliance*, qui attribue son label sans que certains critères de certification soient remplis mais sous la condition que l'entreprise prouve ses efforts pour remplir ces critères dans le futur, des vérifications ultérieures venant vérifier cette évolution. On certifie alors des trajectoires vertueuses plus que des états de fait.

Les plateformes d'innovation et l'accompagnement des processus d'adoption

Des plateformes d'innovation ont été mise en place au Nicaragua, en coordination avec une coopérative de la région de La Dalia, au nord de Matagalpa. Les plantations de caféiers y sont gérées sous un ombrage souvent dense et diversifié, mais avec des productivités réduites, amenant des revenus insuffisants.

Plateformes d'innovation à l'initiative des chercheurs

Les modifications proposées visent deux choses. D'une part, il s'agit de sélectionner les associations d'espèces les plus intéressantes pour les producteurs, de manière à protéger ces associations dans le cadre d'une démarche d'intensification qui conserve les fonctions essentielles des systèmes agroforestiers complexes. D'autre part, on veille à ajuster les règles de la modulation de la fertilisation en fonction du degré de régulation de l'ombrage des arbres, dans deux modalités séparées sur le terrain. Ces modalités ont été prévues après des travaux de diagnostic dans la région (par exemple, Notaro, 2014). Sous l'initiative conjointe de la recherche et de l'équipe de direction de la coopérative, des producteurs intéressés par une collaboration avec les chercheurs ont été identifiés, contactés, leurs systèmes de production ont été caractérisés. Une réunion a été organisée, sur une journée complète, pour choisir des thèmes de recherche entre les différents acteurs. Les modalités des recherches ont été discutées et chaque producteur s'est inscrit (ou non) dans un des groupes. Les protocoles initiaux ont été préparés, puis affinés après la réunion. Des réunions périodiques de chaque groupe ont été organisées au fur et à mesure de l'avancement des recherches. L'expérience est encore en cours, dans le cadre du projet Stradiv (*System approach for the Transition to bio-diversified Agroecosystems*), cofinancé par Agropolis Fondation.

Des clusters d'innovation à l'initiative du secteur privé

Le secteur privé met en place des systèmes assez différents de promotion de l'innovation, souvent sous la forme de *clusters*, autrement dit des groupes d'agriculteurs sélectionnés selon des critères propres à l'entreprise, incluant le terroir et les pratiques agricoles. Ces agriculteurs reçoivent un encadrement particulier, souvent des crédits de campagne remboursables en café livré à la récolte. Ces initiatives sont évidemment très liées au marché, dans la mesure où elles visent à sécuriser, pour

l'acheteur, l'approvisionnement en café d'une qualité prévisible. C'est par exemple le cas de l'entreprise Nespresso. Les recommandations techniques incluent des éléments visant à garantir essentiellement la qualité organoleptique du café, mais aussi, de manière accessoire, le respect de l'environnement, se rapprochant ainsi de pratiques agro-écologiques. Proche de ce schéma, à l'initiative de la fondation Moringa (fonds d'investissement fondé par le groupe Edmond de Rothschild et ONF international) une ferme agroforestière du Nicaragua, la Cumplida, a été partiellement achetée et organise autour des terres de la ferme un espace agroforestier. Sous un contrat de location temporaire, des parcelles de caféiers sont entièrement rénovées sur la base de variétés récentes (hybrides F_1 [Bertrand *et al.*, 2010] ou variétés de la famille des Catimor) et complantées d'espèces forestières à haute valeur ajoutée. Les investisseurs ont un réseau qui leur permet de garantir des marchés d'exportation avantageux et un suivi particulier est apporté par une filiale de Moringa, à laquelle est associée le Cirad au sein du projet Matrice (*Matagalpa Agroforest Resilient Landscape program*) afin de garantir la durabilité des pratiques agricoles. Dans une première phase, ce *cluster* ne rassemblait que de grandes et moyennes exploitations (entre 20 et 100 ha, pour une vingtaine de producteurs) : le contrat prévoyait que les bénéfices des cinq premières années seraient entièrement affectés au remboursement des investissements, les propriétaires devant donc disposer des moyens de subsistance complémentaires aux parcelles allouées à ce schéma de rénovation. Le projet a récemment inclus des petits producteurs (une cinquantaine), sous un contrat plus souple.

Les acteurs de la promotion de l'agro-écologie et de l'agriculture biologique

Institutions et politiques publiques

Comme dans beaucoup d'autres régions du monde, les trajectoires des politiques publiques agricoles et rurales et les acteurs ayant participé à ces processus sont propres à chaque contexte et fortement liés à l'histoire nationale. Toutefois, il est possible d'analyser un certain nombre de convergences dans les pays d'Amérique centrale.

D'abord, et comme dans d'autres pays du Sud, les pays d'Amérique

centrale ont été engagés dans des processus de libéralisation économique et de privatisation du secteur agricole en lien avec les politiques d'ajustements structurels des années 1990. Ces processus se sont traduits par l'affaiblissement plus ou moins marqué de l'État[26] et en particulier des structures publiques de recherche et de vulgarisation agricole[27]. En parallèle, des acteurs locaux, des mouvements sociaux et des acteurs de la coopération technique, par les projets de développement, ont favorisé l'émergence de modes de production alternatifs aux modèles issus de la révolution verte (Sabourin *et al.*, 2017). Dans certains pays, les crises économiques, politiques et environnementales ont facilité cette recherche de solutions dans un contexte de manque de devises, comme dans le cas du Nicaragua (Fréguin-Gresh, 2017). C'est dans ce contexte qu'ont émergé dans les années 1990 les concepts de l'agriculture biologique et de l'agro-écologie dans la région (cf. chap. 17).

Toutefois, même si dans certains cas, ces modes de production sont inscrits dans l'agenda politique national, ils restent relativement marginaux à l'heure actuelle dans la pratique. L'une des explications de cette limitation peut être la recherche de la maximisation de la productivité, dans un contexte où l'importation d'intrants agrochimiques est subventionnée et où l'encadrement de la caféiculture est en partie effectué par les vendeurs d'intrants, soit par le biais de techniciens itinérants, soit simplement comme service au moment de la vente d'intrants dans les officines. Cette situation n'est évidemment pas idéale pour la diffusion à grande échelle d'une agriculture moins dépendante des intrants. Une autre partie de l'encadrement est assurée par les coopératives et les usines de traitement du café, intéressées prioritairement à remplir leurs contrats d'exportation avec une vigilance accrue sur les quantités produites et fournies à leurs usines. Elles sont en principe moins intéressées directement à vendre des intrants, en particulier lorsqu'elles sont en charge des dossiers de certifications. Cependant, leur sensibilité aux volumes de café captés peut les inciter également à promouvoir cette consommation d'intrants, et en particulier les fertilisants.

Un succès

Toutefois, certains instruments de politiques ont permis des avancées considérables dans l'évolution des systèmes agroforestiers, avec parmi ceux-là les programmes de paiement des services environnementaux.

La première expérience nationale de paiements pour services environnementaux a été organisée en 1992 au Costa Rica pour protéger une forêt à des fins touristiques, mais c'est en 1997 qu'une forme plus aboutie a été conclue, avec la vente de précurseurs de crédits carbone à la Norvège. Cette même année, le programme national de paiements pour services environnementaux se met en place, sous l'impulsion des entreprises forestières et sous l'égide du Fonafifo (Fonds national de financement forestier). Il vise la fourniture de différents services écosystémiques (régulation climatique, qualité de l'eau, conservation de la biodiversité, beauté du paysage) et prend différentes formes (appui aux plantations, à la conservation, et, depuis le début, à la plantation d'arbres dans les plantations de caféiers et de cacaoyers). Les financements ont d'abord une origine internationale, mais ont été relayés dès la création de ce programme par une taxe sur les carburants, socialement bien acceptée au Costa Rica. Hormis la modalité relativement marginale d'encouragement de plantation d'arbres dans les parcelles agroforestières, ce paiement pour service environnemental est très orienté sur les activités forestières (reforestation, conservation). Cependant, une nouvelle modalité de caféier agroforestier, prévoyant un paiement à la surface de systèmes agroforestiers caféiers (et non pas juste à la plantation d'arbres dans des parcelles de systèmes agroforestiers) a été introduite en 2011 et fait désormais partie des modalités accessibles[28].

Ces expériences de paiements pour services environnementaux, particulièrement avancées au Costa Rica, ont été adoptées, sous des formes variées, dans presque tous les pays d'Amérique centrale (Guatemala, Salvador). Elles ont été généralement mises en place à l'initiative d'entrepreneurs forestiers, sauf au Nicaragua où les premières expériences ont été nettement orientées vers l'agro-écologie, à l'échelle municipale.

Les programmes de paiements pour services environnementaux, adossés à des normes nationales, représentent des outils utiles pour la promotion de l'agro-écologie. Une simulation participative (de type jeu de rôles, à l'initiative de la recherche) a été mise en œuvre afin d'explorer les effets potentiels d'un changement de l'environnement institutionnel des producteurs (plusieurs types d'instruments et de règles testés) sur l'adoption de pratiques, incluant la gestion de l'ombrage, la diminution des doses de fertilisants et la protection des cours d'eau (Bonifazi, 2015). Les simulations réalisées au cours de sessions réunissant une diversité de producteurs ont permis d'identifier cette influence potentielle pour des

pratiques de conduite des systèmes agroforestiers (fertilisation, gestion des adventices et de l'ombrage) et d'aménagement des parcelles ainsi que pour la provision de services (production de café, biodiversité) et de « dis-services » (érosion des sols, pollution azotée). Si un contrôle accru des zones de protection des rivières affecte positivement la biodiversité et réduit les problèmes d'érosion et de pollution azotée, il affecte négativement la production de café par simple effet de réduction de la surface plantée en café.

La mise en place d'incitations positives et ciblées (les « crédits verts » ou les paiements pour services environnementaux) semble cependant avoir des effets plus forts en termes d'amélioration des services écosystémiques que les mesures de contrôle normatives : elle réduit fortement les dis-services (érosion des sols et pollution azotée) en augmentant la provision de services de support (biodiversité) mais également d'approvisionnement (production de café). L'équilibre entre les différents services dépend toutefois du type d'incitations positives et du ciblage de ces incitations en termes de pratiques : les crédits verts (diminution des taux des emprunts qui remplissent des critères en relation avec l'environnement) entraînent un accroissement de production de café supérieur à ceux observés dans le cas du scénario des paiements pour services environnementaux, alors que les paiements pour services environnementaux se traduisent par un accroissement supérieur en termes de service de support (biodiversité) et de réduction de dis-services (érosion des sols et pollution azotée).

Initiatives de certifications et labels

Suite à la crise des prix du café qui a débuté à la fin des années 1990, des stratégies privées ont été mises en place pour promouvoir et valoriser la qualité environnementale et sociale de ce produit, en fixant des normes pour sa production et en créant des labels pour certifier le respect de ces normes (Soto et Le Coq, 2011).

La production de café « bio » s'est ainsi fortement accrue à partir des années 2000, en partie pour des raisons d'opportunités de prix, le surprix lié à la qualité bio compensant, en cas de prix bas, le manque à gagner du fait de productivités plus faibles (mais sans offrir une compensation suffisante en cas de prix élevés). Les systèmes de plantation en bio

utilisent un ombrage plus dense et plus divers, pour favoriser la régulation des bioagresseurs et le contrôle des mauvaises herbes. Un grand nombre d'autres pratiques sont également adoptées, comme des applications foliaires d'éliciteurs des défenses naturelles, cultures de micro-organismes récupérés en forêts, mais dont l'efficacité n'a pas été testée.

En outre, d'autres labels ont été créés sur la filière café, qui souvent rassemblent des normes environnementales et sociales : commerce équitable (*Max Havelaar* fondé en 1988 sur du café d'Oaxaca, au sud du Mexique), *Rainforest Alliance* (premières certifications agricoles en Amérique centrale, d'abord banane, puis café en 1995), *Smithsonian Bird Friendly coffee* en 1996 et finalement *Utz certified* (initialement *Utz Kapeh*, créé sur le café au Guatemala en 2002). Toutes ces normes imposent, à des degrés divers, des pratiques respectueuses de l'environnement du caféier au sein des filières de production. Les principales pratiques modifiées sont l'utilisation et la diversification de l'ombrage, mais aussi l'arrêt de certains pesticides ou le contrôle des chaînes de contamination liées à leur usage.

Une autre grande stratégie a reposé sur la promotion de la qualité du café et dans certains cas sur son amélioration. Elle est généralement plus liée à des entreprises de l'aval de la filière. Ainsi, Starbucks, une chaîne de magasins de vente de café à la tasse, basée essentiellement aux États-Unis mais qui a une stratégie d'implantation mondiale, a créé le manuel de pratiques *Starbucks Café Practices*. Seuls les producteurs qui adhèrent à ces pratiques peuvent prétendre vendre leur café à Starbucks. Dans le même type de stratégies, Nespresso a créé le programme AAA, plutôt promu dans le cadre de *clusters* de café, groupes de producteurs qui produisent déjà un café de qualité et qui reçoivent une assistance technique particulière liée à la commercialisation vers Nespresso.

Depuis une dizaine d'années, des appellations d'origine du café sont également apparues, basées sur une réputation de qualité et une histoire originale de la caféiculture des régions concernées. Ces appellations concernent principalement le territoire d'origine du caféier, mais tendent également à fixer certaines pratiques, en particulier des variétés.

Ces différentes stratégies, qui se réclament toutes comme promouvant la durabilité de la production de café, n'ont pas les mêmes effets sur l'adoption de pratiques agro-écologiques. Elles tentent de réduire (totalement dans le cas du bio) l'utilisation de produits issus de l'industrie

chimique, mais leurs relations à l'accroissement de la biodiversité est variable : contrainte dans le cas de certifications exigeantes comme *Bird Friendly*, plus négociée au cas par cas pour des certifications liées au marché, comme *Rainforest Alliance*, *Café Practices* de Starbucks, ou des stratégies de dénomination d'origine.

En revanche, depuis des décennies, le secteur coopératif a pris une plus grande importance. Au Nicaragua, après le relatif fiasco des coopératives agricoles sandinistes promues par l'État dans les années 1980, des ONG ont pris le relais pendant les années libérales (années 1990 et 2000) et ont encouragé l'émergence de coopératives d'appui à la production et d'exportation du café. Certaines ont prospéré, se sont largement professionnalisées, en particulier en ce qui concerne la promotion de la qualité du café et la négociation à l'exportation, et sont devenues des structures efficaces d'appui à la production. Au Costa Rica, les coopératives se sont largement développées, avec l'appui de l'État, et contrôlent une bonne partie de l'exportation du café. Une fédération de coopérative, CooCafé, a mis en place sa propre certification, *Café Forestal*, basée sur des critères agro-écologiques. Ces coopératives, quand elles existent, représentent des acteurs essentiels de l'accompagnement de l'innovation et de l'accès aux certifications (Faure *et al.*, 2012) et donc à la promotion de pratiques agro-écologiques.

Leçons apprises

Ce rapide inventaire des principes de l'association des espèces et des manières de la promouvoir nous fournit quelques éléments de conclusion.

Il y a un réservoir encore mal exploité dans les savoirs, mais aussi les pratiques des producteurs en agroforesterie. Les systèmes sont très divers, certains producteurs ont des pratiques en décalage par rapport à la norme. Toute pratique marginale n'est pas avantageuse, mais il faut se donner les moyens d'explorer et d'évaluer ces pratiques et ces savoirs.

La valorisation des produits additionnels liés à la pratique agroforestière est aléatoire. L'intégration verticale joue un rôle important : plus les acteurs arrivent à transformer les produits, plus ils arrivent à réduire ces aléas. C'est en particulier vrai pour le bois d'œuvre produit par les arbres d'ombrage.

La facilité de mise en œuvre de pratiques liées aux arbres d'ombrage est essentielle dans leur utilisation : reproduction, plantation, mais aussi et surtout facilité de gestion et plasticité des espèces, pour s'adapter à des contraintes qui varient dans le temps. Ainsi, les espèces qui peuvent supporter deux coupes presque totales par an ont été plébiscitées par les producteurs, comme l'érythrine et certaines espèces d'*Inga*.

La dimension pérenne des systèmes est fortement liée à la fourniture de nombreux services écosystémiques : protection contre l'érosion, protection de la biodiversité, recyclage des nutriments, etc. Il reste qu'un certain nombre d'éléments sont encore trop méconnus, liés aux effets différentiels de certaines espèces ou combinaisons d'espèces sur les bioagresseurs, sur la biologie du sol. Peu d'études sont centrées sur les traits fonctionnels des arbres d'ombrage qui permettraient d'augmenter la provision de ces services.

La complémentarité des espèces dépend de la complémentarité des niches explorées (Sanchez, 1995), mais il faut étendre cette notion, utilisée initialement en écologie. Elle peut certes concerner les niches explorées par les racines, par les éléments aériens pour l'interception du rayonnement lumineux, mais aussi des niches au sens économique : les revenus du bananier par exemple complètent harmonieusement ceux du caféier dans la distribution annuelle.

Le prix est certainement le principal élément à prendre en compte pour comprendre les évolutions de pratiques. On le voit sur le caféier en Amérique centrale comme sur d'autres productions dans d'autres régions du monde. Même si des marges de manœuvre existent encore, les systèmes agricoles ne peuvent évoluer profondément vers une meilleure prise en compte des objectifs environnementaux, dans le cadre actuel de la fixation et de l'évolution des prix. Dans ce contexte, nous avons besoin de concentrer plus d'efforts sur l'évaluation économique des options agro-écologiques de la gestion des plantations caféières, en particulier l'agroforesterie, pour mieux documenter ces débats et éclairer les nécessaires décisions publiques.

La communication sur les labels au sein des organisations qui les administrent — les coopératives en particulier — est essentielle. Une bonne part de leurs effets sur la modification des pratiques en dépend : les producteurs ont besoin de savoir quelles sont les exigences des certifications ; en outre, le fait d'être certifié donne une certaine fierté aux

producteurs, et cette fierté a des effets vertueux sur les pratiques. Enfin, les coopératives qui administrent l'application de ces labels peuvent prendre en charge une bonne partie de la formation, élément fondamental de la transition agro-écologique.

La recherche est encore en quête de principes d'action génériques pour l'agro-écologie, qui servent de cadre à la déclinaison de pratiques profitables pour les producteurs. Nous devons avoir à cœur de comprendre la complexité, pour l'optimiser.

La pression générale de la société concernant l'agro-écologie est un élément important de la transition, même si l'impact de cette pression sur les pratiques reste difficile à estimer. Elle facilite l'évolution des cadres normatifs, l'apparition de labels pour les marchés intérieurs, mais aussi la prise en compte des préoccupations et des pratiques de l'agro-écologie par les producteurs. C'est une évolution que nous avons observée au Costa Rica, et sans doute dans une moindre mesure dans d'autres pays d'Amérique centrale, où la caféiculture était moins intensive.

Conclusion

Les systèmes agroforestiers à base de caféiers représentent des options agro-écologiques très intéressantes, en combinant la production de café de qualité, mais aussi d'autres produits qui permettent de diversifier les sources de revenu, ainsi que les diètes alimentaires des familles de producteurs. Toutefois, ces systèmes sont complexes et bien des éléments de connaissances restent à acquérir sur leur fonctionnement et les conditions de leur amélioration.

La plateforme de partenariat (PCP AFS-CP), après une phase d'acquisition et de capitalisation de connaissances sur l'agro-écologie, passe à une autre étape de transition. Cette étape est la mise en œuvre d'options de modification des conditions de production, en relation plus étroite avec les pouvoirs publics, les opérateurs privés et les ONG, qui peuvent lui donner les moyens de ce changement d'échelle. Ce sont ces nouveaux défis que cette plateforme a décidé de relever pour sa seconde période, à partir de 2017.

On a montré au début de ce chapitre que les prix, leurs évolutions, mais

aussi les manières de les modifier, sont des éléments essentiels de la transition agro-écologique, dans ce secteur très lié aux marchés internationaux. D'autres déterminants (*drivers*) sont en train d'apparaître, qu'il faut intégrer dans nos travaux.

Ainsi, l'arrivée de la rouille orangée du caféier en Amérique centrale en 1976 au Nicaragua a favorisé la création d'un réseau régional des instituts de recherche sur le café visant à promouvoir le développement d'innovations et la modernisation de la caféiculture : le Promecafé (*Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y la Modernización de la Caficultura de Centroamérica, República Dominicana y Jamaica*). Si cette maladie est restée relativement discrète en Amérique centrale pendant des décennies (Avelino *et al.*, 1999), en 2012-2013, elle a causé des pertes très importantes, devenant un déterminant de l'évolution des systèmes de culture des plantations caféières de la région. Une des raisons de ce changement d'ordre de grandeur des dommages peut venir du changement climatique, le caféier, mais aussi l'agent de la rouille orangée, *Hemileae vastatrix*, étant très sensibles à la température (Avelino *et al.*, 2015). L'évolution du parc génétique du caféier est une des conséquences immédiates de la crise, avec le remplacement rapide des variétés traditionnelles sensibles par des variétés résistantes. Cependant, des contournements de résistance ont déjà eu lieu (Gómez, 2017), indiquant qu'une gestion intégrée de la rouille orangée, basée sur l'ombrage et la nutrition, en particulier la conservation des sols, est nécessaire (Avelino *et al.*, 2006 ; Toniutti *et al.*, 2017). Une approche systémique de la lutte contre cette maladie doit être envisagée (Lewis *et al.*, 1997). La transformation du système de production dans sa globalité y est considérée pour maximiser les forces préventives de contrôle des maladies et ravageurs, en mobilisant plusieurs mécanismes de contrôle/régulation écologique (Avelino *et al.*, 2011), à la base de l'agro-écologie, et en employant des tactiques classiques de contrôle (chimie, génétique) uniquement en appoint. Leur efficacité pourrait alors s'en trouver augmentée du fait de la pression réduite des bioagresseurs dans ces nouveaux systèmes. Cette stratégie semble la seule possible pour les bioagresseurs pour lesquels aucune lutte génétique n'est possible (cas des pathogènes peu spécifiques comme *Mycena citricolor*) ou parce qu'elle a montré ses limites (cas de la rouille orangée). L'ombrage est central dans cette approche, mais de nombreuses études restent à mener pour identifier des idéotypes d'ombrage qui permettent d'atteindre cet objectif de régulation efficace du complexe des bioagresseurs.

Références

Allinne C., Savary S., Avelino J., 2016. Delicate balance between pest and disease injuries, yield performance, and other ecosystem services in the complex coffee-based systems of Costa Rica. *Agr Ecosyst Environ*, 222, 1-12.

Avelino J., Cristancho M., Georgiou S., Imbach P., Aguilar L., Bornemann G., Läderach P., Anzueto F., Hruska A.J., Morales C., 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Secur*, 7 (2), 303-321.

Avelino J., Muller R.A., Eskes A., Santacreo R., Holguin F., 1999. La Roya Anaranjada del café: Mito y realidad. In : *Desafíos de la Caficultura Centroamericana* (B. Bertrand, B. Rapidel, eds), IICA-Cirad-IRD-CCCAC, San José, Costa Rica, 93-241.

Avelino J., ten Hoopen M., DeClerck F., 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. In : *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment* (B. Rapidel, F. DeClerck, J.F. Le Coq, J. Beer, eds), Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 91-117.

Avelino J., Zelaya H., Merlo A., Pineda A., Ordoñez M., Savary S., 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecol Model*, 197, 431-447.

Baumeister E., Fernández E., Acuña G., 2008. *Estudio sobre las migraciones regionales de los nicaragüenses*, INCEDES, FLACSO Editorial de Ciencias Sociales, Managua, Nicaragua, 103 p.

Beer J., Muschler R., Kass D., Somarriba E., 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agrofor Syst*, 38, 139-164.

Bertrand B., Alpizar E., Lara L., SantaCreo R., Hidalgo M., Quijano J.M., Charmetant P., Montagnon C., Georget F., Etienne H., 2010. Performance of *Coffea arabica* F₁ hybrids in agroforestry and full-sun cropping systems in comparison with American pure line varieties. *Euphytica*, 181 (2), 147-158.

Bhattarai S., Alvarez S., Gary C., Rossing W., Tittonell P., Rapidel B.,

2017. Combining farm typology and yield gap analysis to unravel important variables limiting yields in highland coffee systems of Llano Bonito, Costa Rica. *Agr Ecosyst Environ*, 243, 132-142.

Bonifazi M., 2015. Services écosystémiques et production agroforestière : Instruments d'incitation pour le bassin de Llano Bonito, Costa Rica, mémoire M2, Systèmes agricoles et agroalimentaires durables au Sud (SAADS), Montpellier SupAgro, Montpellier.

Boudrot A., Pico J., Merle I., Granados E., Vilchez S., Tixier P., Virginio Filho E.D.M., Casanoves F., Tapia A., Allinne C., Rice R.A., Avelino J., 2016. Shade effects on the dispersal of airborne *Hemileia vastatrix* uredospores. *Phytopathology*, 106, 572-580.

Cerda R., Allinne C., Gary C., Tixier P., Harvey C.A., Krolczyk L., Mathiot C., Clément E., Aubertot J.-N., Avelino J., 2017. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *Eur J Agron*, 82, 308-319.

Cerda R., Deheuvels O., Calvache D., Niehaus L., Saenz Y., Kent J., Vilchez S., Villota A., Martinez C., Somarriba E., 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: Looking toward intensification. *Agrofor Syst*, 88, 957-981.

Defrenet E., Roupsard O., Van den Meersche K., Charbonnier F., Pérez-Molina J.P., Khac E., Prieto I., Stokes A., Roumet C., Rapidel B., Virginio Filho E.D.M., Vargas V.J., Robelo D., Barquero A., Jourdan C., 2016. Root biomass, turnover and net primary productivity of a coffee agroforestry system in Costa Rica: Effects of soil depth, shade trees, distance to row and coffee age. *Ann Bot-London*, 118, 833-851.

Demyk N., 2007. Café et pouvoir en Amérique Centrale. *Études rurales*, 180, 137-154.

Faure G., Le Coq J., Vagneron I., Hocdé H., Soto Muñoz G., Kessari M., 2012. Stratégies des organisations de producteurs de café au Costa Rica vis-à-vis des certifications environnementales et sociales. *Cah Agr*, 21, 162-168.

Fréguin-Gresh S., 2017. Agroecología y agricultura orgánica en Nicaragua. Génesis, institucionalización y desafíos. In : *Políticas Públicas*

en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe (E. Sabourin, M.M. Patrouilleau, J.F. Le Coq, L. Vásquez, P. Niederle, eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 311-350.


Griffon M., 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Éditions Quæ, Versailles, 224 p.

Haggar J., Barrios M., Bolaños M., Merlo M., Moraga P., Munguia M., Ponce A., Romero S., Soto G., Staver C., Virginio E., 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agrofor Syst*, 82, 285-301.

Hergoualc'h K., Blanchard E., Skiba U., Henault C., Harmand J.M., 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agr Ecosyst Environ*, 148, 102-110.

Jha S., Bacon C.M., Philpott S.M., Mendez V.E., Laderach P., Rice R.A., 2014. Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 64, 416-428.

Jiménez G., Siles P., Bustamante O., Rapidel B., Staver C., 2012. Optimizing timber production and carbon storage of *Cedrela odorata* and *Swietenia macrophylla* in coffee agroforestry systems in Honduras. In : *ASIC 2012, the 24th international conference on coffee science*, ASIC, San José, Costa Rica, 1071-1074.

León-Gómez R., 2017. Informe de gira técnica para evaluar problemática de presencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en variedades "resistentes" de café en Honduras. Promecafe, 36 p., <http://promecafe.net/20182/wp-content/uploads/2018/04/Informe-GiraTécnica-de-Emergencia-Roya-Honduras.pdf> .

Lewis W.J., van Lenteren J.C., Phatak S.C., Tumlinson III J.H., 1997. A total system approach to sustainable pest management. *P Natl Acad Sci USA*, 94, 12243-12248.

Lopez D., Virginio Filho E.D.M., Avelino J., 2013. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions in a sub-optimal zone for coffee in Costa Rica. *Crop Prot*, 38,

21-29.

Meylan L., 2012. *Design of cropping systems combining production and ecosystem services: Developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers*, thèse E.D. Fonctionnement des écosystèmes naturels et cultivés, Montpellier SupAgro, Montpellier, 145 p.

Meylan L., Merot A., Gary C., Rapidel B., 2013. Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. *Agr Syst*, 118, 52-64.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington DC, États-Unis, 160 p.

Notaro M., 2014. *Diseño de sistemas agroforestales con base en los compromisos entre servicios ecosistémicos. Estudio de caso en sistemas agroforestales con café en el norte de Nicaragua*, rapport de M2 Production végétale durable, Montpellier SupAgro, Montpellier, France, 67 p.

Padovan M.P., Brook R.M., Barrios M., Cruz-Castillo J.B., Vilchez-Mendoza S.J., Costa A.N., Rapidel B., 2018. Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* D.C. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. *Agric For Meteorol*, 248, 1-14.

Padovan M.P., Cortez V.J., Navarrete L.F., Navarrete E.D., Barrios M., Munguía R., Centeno L.G., Deffner A.C., Vilchez J.S., Vega C., Costa A.N., Brook R.M., Rapidel B., 2015. Root distribution and water use in a coffee shaded with *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. *Agrofor Syst*, 89, 857-868.

Quispe G.J.L., 2007. *Caracterización del impacto ambiental y productivo de las diferentes normas de certificación de café en Costa Rica*, M.Sc. thesis, Agricultura ecológica, CATIE, Turrialba, 137 p.

Sabourin E., Patrouilleau M.M., Le Coq J.F., Vásquez L., Niederle P., eds, 2017. *Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe*, Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 412 p.

Samper M., 1999. Trayectoria y viabilidad de las caficulturas centroamericanas. In : *Desafíos de la Caficultura en Centroamerica* (B. Bertrand, B. Rapidel, eds), Cirad-IICA, San José, Costa Rica, 1-68.

Sanchez P., 1995. Science in agroforestry. *Agrofor Syst*, 30, 5-55.

Soto G., Le Coq J.-F., 2011. Certification process in the coffee value chain: Achievements and limits to foster provision of environmental services. In : *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment* (B. Rapidel, F. DeClerck, J.F. Le Coq, J. Beer, eds), Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 319-346.

Toniutti L., Breitler J.-C., Etienne H., Campa C., Doubeau S., Urban L., Lambot C., Pinilla J.-C.H., Bertrand B., 2017. Influence of environmental conditions and genetic background of Arabica coffee (*C. arabica* L.) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2025.

Tulet J.-C., 2008. Le café, un marqueur identitaire en Amérique latine tropicale. *Café d'Outre-Mer*, 243, 243-262.

CHAPITRE 9

De nouvelles variétés pour des systèmes caféiers agroforestiers innovants

Benoit Bertrand, Jean-Christophe Breitler, Frédéric Georget, Éric Penot, Mélanie Bordeaux, Pierre Marraccini, Sophie Lérant, Claudine Campa, Olivier Bonato, Luc Villain, Hervé Étienne

Dans l'industrie de l'amélioration des plantes (ce qu'on appelle aussi l'industrie semencière), le sélectionneur applique un cahier des charges issu d'une logique productiviste qui considère l'environnement comme un support de production et se préoccupe peu de la quantité d'intrants à apporter. Par ailleurs, cette industrie est absente des filières des plantes

pérennes tropicales (hévéa, cacaoyer, caféier, cocotier...) qui sont approvisionnées majoritairement par des petits producteurs peu solvables et donc peu intéressants économiquement. La création variétale et la production de semences sont parfois réalisées par des organisations professionnelles ou nationales. En conséquence, l'offre mondiale de nouvelles variétés dans ce secteur-là est extrêmement réduite et le progrès génétique très limité. Or dans un contexte de réchauffement climatique et de perte de la biodiversité, il est nécessaire de créer des variétés plus adaptées et de repenser les caractères cibles de la sélection pour les plantes pérennes tropicales.

Pour illustrer ce besoin de revisiter les cibles d'amélioration génétique dans un contexte de transition agro-écologique, nous présentons l'exemple des nouvelles variétés de caféiers adaptées aux systèmes agroforestiers.

Le caféier Arabica est majoritairement cultivé en Amérique centrale entre 600 et 1 200 m d'altitude, et au Pérou (proche de l'équateur) entre 1 000 et 1 500 m d'altitude. Dans ces régions, les caféiers sont cultivés très majoritairement en systèmes agroforestiers. Ceux-ci apportent de nombreux services écosystémiques, que ce soit pour la conservation de la biodiversité, le cycle de l'eau dans les bassins versants ou la séquestration de carbone. D'un point de vue socio-économique, la caféiculture est très demandeuse de main-d'œuvre et contribue à freiner l'exode rural et la migration illégale vers les États-Unis. La majorité des producteurs de ces zones accède difficilement au marché des cafés dits « spéciaux » mieux rémunérés.

Ce chapitre a pour objectif de montrer pourquoi des variétés productives et en « bonne santé » sont la pierre angulaire de la reconquête de la rentabilité de la caféiculture en Amérique centrale, andine et au Mexique, dans ces zones basses qui représentent plus de 90 % du café Arabica produit au Salvador, au Honduras ou au Nicaragua, 50-60 % au Costa Rica, environ 40 % au Guatemala, plus de 50 % dans le Chiapas au sud du Mexique, et plus de 80 % pour les zones de culture les plus septentrionales essentiellement localisées dans les États de Veracruz et Oaxaca.

Nous rappellerons brièvement quelles sont les contraintes et les défis de cette caféiculture pratiquée pour l'essentiel en systèmes agroforestiers. Nous décrirons ensuite les cibles de sélection dans le contexte de l'agroforesterie et les types de variétés les plus adaptées. Nous évoquerons comment produire, puis diffuser les variétés.

Les défis à relever

Une caféiculture peu durable

L'utilisation des pesticides dans l'agriculture, même raisonnée, a des conséquences sur l'environnement. Les effets sont nombreux car les molécules issues de la dégradation des produits agrochimiques épandus sont susceptibles de se retrouver non seulement dans les différents compartiments de l'environnement (air, eau, sédiments...) mais également dans les aliments. La caféiculture en plein soleil est une culture consommatrice d'intrants chimiques : engrais synthétiques, herbicides, fongicides et insecticides. Les agriculteurs sont directement exposés aux produits chimiques et les communautés environnantes sont également touchées par des résidus qui migrent facilement d'un compartiment à un autre et s'y stockent.

Le risque de la perte de la biodiversité

Actuellement, la perte de biodiversité, qui s'opère à une vitesse 1 000 fois plus élevée que la moyenne géologique, correspond à une sixième crise d'extinction massive depuis l'apparition de la vie sur Terre. Même si la disparition d'espèces fait partie du cours naturel de l'histoire de la Terre, l'activité humaine est responsable de cette accélération du rythme d'extinction. Selon la théorie de la biogéographie insulaire (MacArthur et Wilson, 1967), base des recherches en biologie de la conservation depuis 40 ans, la réduction d'un habitat disponible entraîne une perte proportionnelle du nombre d'espèces et inversement. En conséquence, un paysage agricole ayant un couvert arboré important abrite plus d'espèces forestières qu'un paysage sans arbre. Le lien entre culture du caféier et déforestation a été souligné par le WWF qui a montré que sur les 50 pays qui présentent les plus forts taux de déforestation, 37 sont des pays producteurs de café.

Des pressions parasitaires plus importantes

Dans les plantations de caféiers, les différents niveaux d'ombrage influencent l'ensemble de la fonctionnalité du réseau trophique *via* notamment l'intensité lumineuse et l'humidité relative. La pression des maladies et des ravageurs ainsi que l'impact des agents de lutte (microflore et faune) diffèrent selon le climat, l'altitude et la nature des sols (Staver *et al.*, 2001). Par exemple avec le changement climatique, les épidémies de rouille (principale maladie des feuilles des caféiers) se multiplient et s'intensifient. Le réchauffement agit en effet à la fois sur le développement du champignon et sur l'état physiologique de la plante qui subit des stress environnementaux.

Une caféiculture peu rentable

Dans les zones montagneuses d'Amérique centrale, de Colombie et du Pérou, la caféiculture apparaît souvent comme la seule culture qui procure des revenus aux paysans. Même dans les endroits les plus éloignés, des réseaux de collecte du café vert ont été mis en place pour l'acheminer jusqu'à des centres de séchage et triage, puis vers les ports pour l'exporter à des torréfacteurs qui transforment le produit et le commercialisent.

Mais le producteur est dépendant d'un prix qui est fixé ailleurs. Il est conscient que les cours mondiaux sont volatils et que le café qu'il produit doit se différencier des cafés les moins chers. Il sait également que si les grands pays producteurs comme le Brésil ou le Vietnam — qui pratiquent des caféicultures intensives fortement consommatrices de pesticides et d'engrais — produisent trop, le prix mondial s'effondrera et le prix du marché ne couvrira pas ses dépenses. Dans ce contexte défavorable, le producteur peut rarement recourir aux crédits bancaires. En effet, pour les banques nationales, la volatilité des cours, les épidémies récurrentes comme les différentes crises de la rouille depuis 2008 (McCook et Vandermeer, 2015 ; Avelino *et al.*, 2015), les risques liés au changement climatique, la faiblesse des garanties présentées par les producteurs font de la caféiculture un secteur à risques. Tout ce qu'elles proposent aux producteurs relèvent ainsi de crédits usuriers (entre 12 et 20 % par an).

Par ailleurs, dans beaucoup de pays producteurs (à l'exception notable de la Colombie où la fédération des *Cafeteros* structure puissamment la filière), et dans une moindre mesure au Honduras et au Costa Rica, l'État ne joue pas son rôle de régulation au travers du crédit et du conseil

agricole, de la fourniture de semences, de la recherche et de l'innovation. Les impôts collectés à l'exportation ne sont réinvestis que partiellement dans la filière de production. S'agissant des variétés, l'absence de secteur semencier structuré aboutit à une production de semences et de plants de mauvaise qualité, tant génétique qu'horticole. La propagation de hors-types est fréquente et a un impact négatif sur la productivité. Pour au moins 40 pays, l'innovation en termes de création variétale repose sur les efforts consentis dans d'autres pays (Brésil, Colombie). L'importation de semences venant de ces pays est rarement facilitée par les autorités nationales. L'introduction des variétés se fait parfois de façon illégale avec une traçabilité très insuffisante.

La création de variétés adaptées à l'agroforesterie

Les systèmes agroforestiers correctement conduits exploitent des synergies biologiques et économiques, débouchant sur une gestion durable des terres et la création de revenus locaux stables pour les parties prenantes (essentiellement des petits agriculteurs). Il est attendu que la culture dans des systèmes ombragés, tels que les systèmes agroforestiers, réduise la dépendance à des intrants extérieurs. Malheureusement, la productivité des systèmes agroforestiers à base de caféiers est moindre de 30 % par rapport aux systèmes plein soleil (Vaast *et al.*, 2005). Une des raisons à cela est qu'on y cultive des variétés sélectionnées pour les systèmes intensifs et de plein soleil, et par conséquent non adaptées aux systèmes agroforestiers (Bertrand *et al.*, 2011 ; Van der Vossen *et al.*, 2015). L'amélioration variétale pour les systèmes intensifs a ainsi mis dans les mains des producteurs des variétés non adaptées à l'ombrage alors que le caféier Arabica est une espèce naturellement tolérante à l'ombrage et donc aux systèmes agroforestiers.

Le projet *Breedcafs*

Les solutions que nous allons décrire sont actuellement à l'étude dans le cadre d'un projet européen H2020 (2017-2021) appelé *Breedcafs* (*BREEDding Coffee for Agroforestry Systems*)[29]. Son objectif est d'établir une nouvelle stratégie de sélection pour créer des variétés de caféier plus résistantes et plus résilientes aux changements climatiques

dans les systèmes agroforestiers. Ici, le caféier est considéré comme une culture pérenne modèle ; la plupart des résultats attendus et l'expérience acquise sur le caféier serviront de base à l'amélioration d'autres cultures pérennes tropicales telles que le cacaoyer.

Utilisant les nouveaux hybrides F₁ d'Arabica comme cas d'étude, le projet *Breedcafs* conçoit et teste des variétés de caféiers mieux adaptées à un faible niveau d'intrants, aux systèmes agroforestiers et au changement climatique, en maintenant un système de défense robuste face aux stress biotique et abiotique.

Le projet organise de nombreux dispositifs comparant des hybrides à des variétés cultivées et/ou des hybrides à leurs deux parents dans différents scénarios qui miment le réchauffement climatique (hausse du CO₂, hausse du régime thermique, avec ou sans ombrage, etc.) que ce soit en phytotrons en conditions contrôlées (température, lumière, sécheresse, CO₂, N₂), en essais au champ, ou encore dans des réseaux de parcelles chez des producteurs. Il est en place dans huit pays : Nicaragua, Costa Rica, France (en Guyane française et en serre à Montpellier), Cameroun, Salvador, Vietnam, Portugal et Danemark. Les torréfacteurs sont impliqués dans le processus d'amélioration à travers l'évaluation de la qualité de la boisson et les producteurs sont impliqués dans les mesures au champ. L'avis des producteurs et des torréfacteurs est pris en compte grâce à des plateformes de dialogue mises en place au Vietnam, au Nicaragua et au Cameroun.

Les types de variétés pour l'agroforesterie : hybrides vs lignées

Coffea arabica a été introduit en Amérique latine à partir d'un très faible nombre de plantes, ce qui a conduit à un goulot d'étranglement (Anthony *et al.*, 2002). Cependant, cette faible diversité génétique initiale a donné naissance à des variétés adaptées au plein soleil qui ont permis l'adoption de systèmes de culture intensifs, essentiellement au Brésil, en Colombie et au Costa Rica. Toutefois, la combinaison de ces variétés avec des cultures haute densité (souvent mécanisées) et des méthodes de contrôle des maladies systématiques n'a jamais été adoptée dans le reste de l'Amérique latine et en Afrique. Dans ces régions, les caféiers continuent à être cultivés sous ombrage sans amélioration technologique majeure, et on

assiste à une stagnation voire une baisse des rendements.

En 1990, le Cirad et ses partenaires de recherche publics et privés (Catie[30], Icafé[31], Ecom Trading[32]) ont créé des variétés hybrides qui se sont avérées adaptées aux systèmes agroforestiers, en utilisant un procédé de sélection basé sur le croisement de variétés lignées américaines et d'individus sauvages d'Éthiopie et du Soudan (photo 9.1) phylogénétiquement distants (Van der Vossen *et al.*, 2015). Il a été ainsi possible d'obtenir des hybrides permettant des augmentations de production de 30-60 % sous des systèmes agroforestiers sans accroissement de fertilisants (Bertrand *et al.*, 2011) et une amélioration de la qualité aromatique (Bertrand *et al.*, 2006). Les temps de sélection des hybrides F₁ significativement plus courts que ceux des variétés lignées conventionnelles (8 vs 25 ans) sont aussi un argument en leur faveur.



Photo 9.1. Hybrides F₁ de *Coffea arabica* plantés en systèmes agroforestiers (Matagalpa, Nicaragua). © Benoît Bertrand / Cirad.

L'étude des réponses des hybrides F₁ aux stress multiples (photo 9.2) a permis de mieux comprendre comment l'hétérosis (*i.e.* la vigueur hybride)

se manifeste en réponse aux contraintes de l'environnement. Sous ombrage, l'efficacité photosynthétique des hybrides est non seulement supérieure à celle des variétés lignées, mais elle est surtout beaucoup plus stable et plus forte (c'est ce qu'on appelle l'homéostasie) en conditions de stress abiotiques multiples (Toniutti *et al.*, 2017). Or l'homéostasie est une des composantes majeures de l'hétérosis chez les plantes améliorées et chez l'*Arabica* en particulier (Bertrand *et al.*, 2011, 2015).

Les plantes présentant des niveaux de résistance aux stress proportionnels à la quantité d'énergie dont elles disposent pour y faire face (Kangasjärvi *et al.*, 2012 ; Ballaré, 2014), il est logique que les hybrides présentent une meilleure résistance aux stress. La mesure de la fluorescence de la chlorophylle (a), en donnant accès au fonctionnement du Photosystème II et à la chaîne de transport d'électrons, s'est révélée un excellent marqueur de l'état de santé des caféiers et capable de prédire leur capacité à résister à la rouille. À l'inverse, plus l'efficacité photosynthétique est affectée, plus le stress oxydatif augmente. C'est ce qu'on observe chez les variétés lignées qui sont moins adaptées aux contraintes de l'environnement (Toniutti *et al.*, 2017).



Photo 9.2. Mesures de photosynthèse sur des variétés hybrides de *Coffea arabica* cultivées sous ombrage simulant les conditions d'agroforesterie (Teocelo, État de Veracruz, Mexique). © Luc Villain / Cirad.

Jusqu'au projet *Breedcafs*, l'adaptation aux futures contraintes climatiques

et aux faibles intensités lumineuses caractéristiques des systèmes agroforestiers n'avait jamais cependant vraiment été un objectif de sélection. On s'est contenté jusqu'ici de profiter de l'homéostasie des hybrides pour les cultiver en agroforesterie (fig. 9.1). Des progrès importants pour l'adaptation des hybrides d'Arabica aux systèmes agroforestiers et aux stress biotiques et abiotiques dans ces agrosystèmes semblent d'autant plus atteignables que l'on s'appuie aujourd'hui sur les nouveaux outils (génomique, transcriptomique, métabolomique) et sur la séquence du génome (Dencœud *et al.*, 2014).

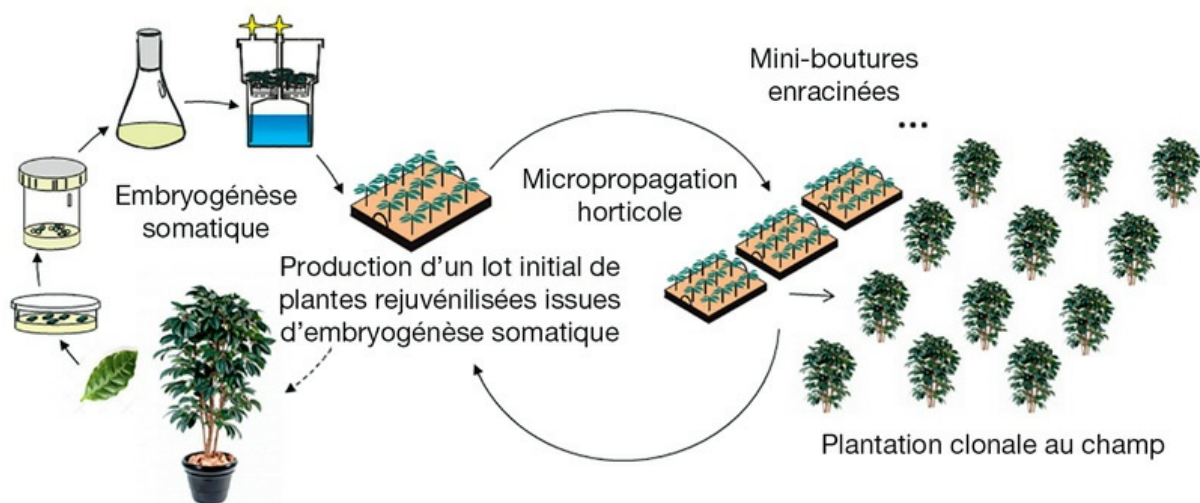


Figure 9.1. Comment les hybrides sont propagés végétativement.


Histoire	Programmes	Sélection des hybrides F ₁	Matériel, étapes de sélection	Cibles de sélection	Résultat attendu
1990-2017	Programmes IICA-Cirad-Catie-Promecafe, Cirad-Ecom	Sélection phénotypique sur les hybrides F ₁	Variétés américaines × éthiopiennes (sauvages ou cultivars traditionnels)	Résistance à la rouille, qualité à la tasse, forte productivité	
2017-2021	<i>Breedcafs</i> , Projet H2020, Union européenne	Sélection assistée des hybrides F ₁ avec des biomarqueurs	Identification de marqueurs robustes (allélique, épigénétique, métabolique, moléculaire) pour la prédiction des géniteurs et l'évaluation précoce des hybrides F ₁	Adaptation aux systèmes agroforestiers et au changement climatique, résistance aux maladies, qualité à la tasse et forte productivité	Prédicteurs précoces de performances des hybrides F ₁
			Validation des marqueurs avec une large population d'hybrides et de parents cultivés en systèmes agroforestiers		Prédiction des meilleurs parents au sein d'un large panel de génotypes
2019 -	Nouvelle gouvernance internationale à déterminer (partenaires privés et publics)	Sélection basée sur de nouveaux outils « omiques » permettant la prédiction de l'hétérosis et de l'adaptation à l'agroforesterie	Évaluation et sélection d'hybrides F ₁ <i>Breedcafs</i> 	Adaptés aux systèmes agroforestiers et aux changements climatiques	Diffusion mondiale et accessible à tous les planteurs. Variétés adaptées à l'agroforesterie et au changement climatique

Figure 9.2. Vers une nouvelle stratégie de sélection pour les hybrides F₁ d'Arabica.



Figure 9.3. Mise en place d'un procédé de propagation végétative horticole par mini-boutures enracinées à partir de plantules rejuvenées issues d'embryogenèse somatique.

a : plantes rejuvenées de 15 semaines obtenues par embryogenèse somatique et plantées dans des boîtes de plastique

b : boutures de plantules issues d'embryogenèse somatique

- c : plantation des mini-boutures en plaques alvéolées
- d : mini-boutures enracinées obtenues après 6 semaines d'acclimatation en serre
- e : mini-boutures enracinées de 8 semaines avec mottes de substrat horticole
- f : mini-boutures enracinées de 8 semaines à racines nues
- g : mini-boutures enracinées après 3 mois d'endurcissement en pépinière
- h : mini-boutures enracinées après 6 mois de pépinière et prêtes pour un transfert au champ.

La figure 9.2 montre schématiquement les changements proposés par le projet H2020 *Breedcafs* durant le processus de sélection des hybrides. L'objectif est d'évoluer d'une sélection phénotypique vers une sélection sur le génome. L'Arabica est une espèce polyploïde avec une diversité génétique réduite. *Breedcafs* propose des logiciels pour l'analyse des polymorphismes des espèces polyploïdes. Ces logiciels vont être utilisés pour la détection des marqueurs mais seront également facilement adaptables pour l'analyse des données épigénétiques. Les variations dans les marqueurs (épi-)génétiques entre des hybrides F₁ réciproques et leurs parents cultivés dans des conditions environnementales variées sont recherchées et reliées aux idéotypes identifiés dans les essais expérimentaux et au champ. Ces données sont utilisées pour prédire les interactions génotype-phénotype-environnement pour des traits attendus complexes.

Améliorer les outils et les méthodes de sélection

Le but de *Breedcafs* est de passer d'une sélection exclusivement phénotypique des hybrides à une sélection assistée par les outils de la génomique et de la transcriptomique (fig. 9.3).

Encadré 9.1. L'approche transcriptomique de la sélection du caféier

L'environnement est utilisé comme une source de variation pour identifier des corrélations entre l'expression des gènes et les caractéristiques de croissance (QTT ou *Quantitative Traits Transcripts*) liées à l'adaptation à l'ombrage. L'utilisation des variations environnementales pour identifier des QTT a été proposée par Passador-Gurgel *et al.* (2007), dans le cas de la résistance de la drosophile à la nicotine, et appliquée par Joët *et al.* (2009) pour déterminer l'accumulation d'acides chlorogéniques dans la graine de caféier. Cette méthode se base sur le principe que l'environnement est un facteur puissant qui module les niveaux d'expression des gènes et qui de ce fait permet la

détection des QTT corrélés au caractère mesuré. Cette approche est adaptée à une plante allopolyploïde présentant peu de polymorphisme.

À l'aide d'approches transcriptomiques et transgéniques, des gènes candidats impliqués dans la tolérance à la sécheresse chez *Coffea canephora* et *C. arabica* ont été identifiés (Marraccini *et al.*, 2012 ; Mofatto *et al.*, 2016 ; Alves *et al.*, 2017, 2018). En couplant les approches phénotypiques, écophysiologiques, transcriptomiques et biochimiques, la mise en évidence des voies biosynthétiques surexprimées ou sous-exprimées lors des phénomènes d'adaptation (gènes du métabolisme primaire ou secondaire, photosynthèse, photoprotection, composés volatiles du café vert) permettra de révéler les gènes marqueurs pouvant être utilisés dans la sélection. Par ailleurs, une approche plus classique portant sur la recherche d'outils de sélection génomique est également mise en œuvre.

L'adoption des variétés par les producteurs

Dans une filière caractérisée par un fort conservatisme, quelles sont les raisons qui poussent les producteurs à l'adoption de nouvelles variétés ?

L'augmentation de la productivité peut être une motivation car elle est nécessaire dans les systèmes agroforestiers. On a besoin pour cela de variétés plus productives et différentes de celles qui sont actuellement utilisées. On assiste ainsi depuis moins d'une dizaine d'années à un changement variétal massif. Ce changement s'est opéré dans le contexte de la grande crise de la rouille (McCook et Vandermeer, 2015), en valorisant des variétés lignées introgressées appelées 'Catimors', 'Sarchimors' ou 'Castillo', qui sont réputées durablement résistantes à la rouille orangée. Malheureusement, on assiste à un contournement important de la résistance à la rouille de ces variétés. Or la recherche de nouveaux gènes de résistance n'a pas donné de résultats depuis de nombreuses années, sauf en Colombie. Dans très peu d'années, il ne restera donc que deux choix aux producteurs : soit utiliser un parapluie phytosanitaire systématique à base de fongicides dangereux pour l'environnement ; soit recourir à une solution intermédiaire en plantant des variétés hybrides, également sensibles mais plus tolérantes, plus résilientes (Toniutti, 2018). Sur ces variétés hybrides sensibles, les épidémies de rouille peuvent être contrôlées avec des traitements cupriques (autorisés en agriculture

biologique).

Pour accompagner le renouvellement des plantations de caféiers avec des variétés hybrides, il faut que des conditions soient réunies. Nous les passons en revue.

Organisation et garanties d'une filière de semences

Une fois qu'une variété de caféier a été créée par les sélectionneurs, il faut pouvoir la multiplier à grande échelle de façon conforme et la distribuer à bon marché auprès des producteurs (Bertrand *et al.*, 2012 ; fig. 9.4).

Au Costa Rica, au Honduras, en Colombie et au Brésil par exemple, des organismes d'État ou des coopératives distribuent des semences (graines) de variétés lignées de très bonne qualité germinative et d'une pureté variétale proche de 90-95 %, à un coût subventionné de 8 \$ US/kg, soit environ 15 \$ US/ha.

Dans les autres pays, les caféiculteurs se tournent vers des producteurs de semences non certifiés, ce qui leur fait courir un certain nombre de risques quant à la pureté variétale (semences très hétérogènes dues à des mélanges et à des pollinisations croisées), à la capacité de germination très variable selon les lots, à la productivité et à la qualité du café qui parfois peuvent être bien inférieures au standard.

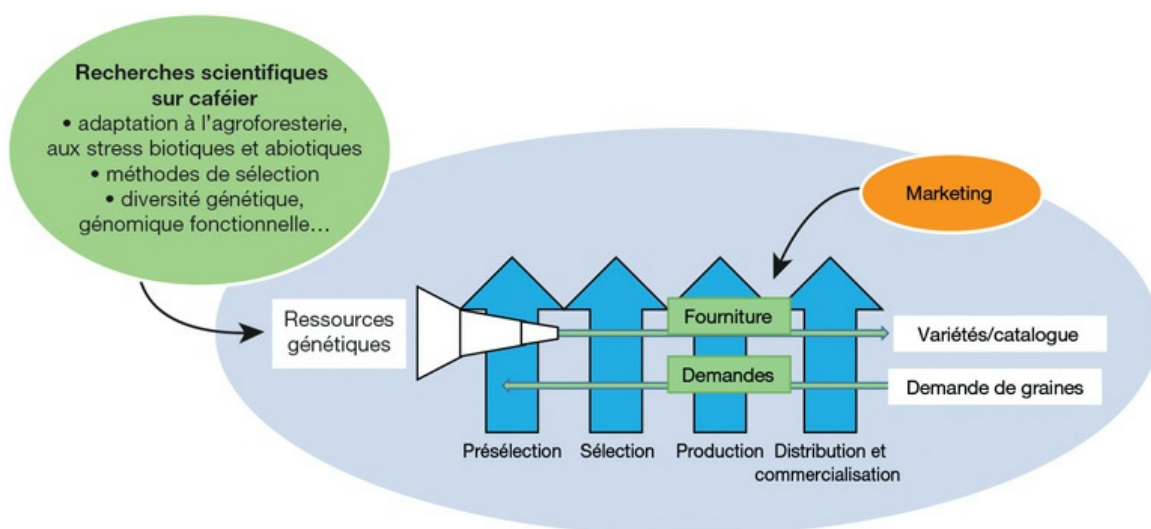


Figure 9.4. Processus de création variétale chez *Coffea arabica* pour l'adaptation à l'agroforesterie et aux changements

climatiques.

Il se décompose schématiquement en recherche en science végétale, conservation et utilisation des ressources génétiques, suivie des étapes de présélection, de sélection (avec une étape nécessaire de validation multi-locale), de production des semences et de leur marketing.

Le pari du projet *Breedcafs* est que dans un contexte de changement climatique, les meilleures variétés pour les systèmes agroforestiers sont des hybrides F_1 . Or la diffusion des clones F_1 pose des problèmes inédits à la fois commerciaux et logistiques. Il faut en effet que ces variétés qui sont reproduites par multiplication végétative (et pas par graines) soient livrées sous la forme de plantes développées, à des coûts les plus faibles possibles, aux petits producteurs qui vivent souvent dans des zones éloignées et montagneuses.

En ce qui concerne les clones d'hybrides F_1 , le manque d'une filière semencière (décrit plus haut) est encore plus grave puisqu'aucune structure étatique ou privée (à l'exception de l'alliance Cirad/Ecom sur Arabica) ne diffuse à l'heure actuelle ces nouvelles variétés. Il faut ajouter que, jusqu'à tout récemment, les coûts de production d'un plant hybride F_1 prêt à être planté (0,70-0,80 \$ US) étaient bien supérieurs aux coûts de production des plants de variétés issues de semences (0,15-0,20 \$ US), ce qui a limité fortement leur diffusion.

Pour résumer, la diffusion des hybrides F_1 se heurte à quatre difficultés majeures :

- un coût trop élevé du plant ;
- des problèmes de logistique pour atteindre les petits producteurs ;
- un besoin de certification de la filière de production de plants ;
- la non-solvabilité des petits producteurs.

Des solutions horticoles pour baisser le coût de la semence F_1

L'idée générale est de professionnaliser le secteur semencier du caféier chargé de multiplier des clones d'hybrides F_1 en les produisant en grandes quantités (plusieurs dizaines de millions par an), 100 % traçables, avec une excellente qualité horticole et selon un itinéraire technique bien défini

(serres hautement technicisées et pépinières certifiées avec utilisation de substrat inerte).

L'alliance Cirad/Ecom produit chaque année quelques centaines de milliers de plants hybrides F_1 à partir de la technique de l'embryogénèse somatique (Etienne *et al.*, 2012, 2016 ; Bobadilla-Landey *et al.*, 2013). La mise au point récente de la propagation par mini-bouturage (Georget *et al.*, 2017) a permis d'augmenter le nombre de plants produits à partir d'un embryon somatique (taux supérieur à 10) et donc de diviser par deux le coût de production d'une plante hybride par rapport à une plante directement issue d'embryon somatique. L'alliance Cirad/Ecom ayant montré la voie avec ce concept de production, nous pensons que cette technologie de production des plants hybrides F_1 peut être prise en charge par des industriels de l'horticulture, comme c'est le cas pour d'autres plantes (plantes ornementales, arbres fruitiers, arbres forestiers, etc.). Cela permet d'offrir des plantes à des prix compétitifs (0,4 à 0,50 \$ US/plante), compte tenu de la haute productivité de ces clones.

Des coopératives de semences pour les zones éloignées

Lorsque l'éloignement rend l'industrialisation impossible, nous avons mis au point la technique de mini-bouturage en milieu paysan. En nous inspirant des réseaux de semences paysannes (*farmers seed systems*), qui sont surtout adaptés à la reproduction par graines, nous avons mis en place des réseaux de coopératives de semences. La technique horticole de mini-boutures enracinées est ainsi transférée à des coopératives de femmes afin de :

- réduire les coûts de production des mini-boutures ;
- réduire les inégalités entre hommes et femmes ;
- populariser l'accès aux hybrides F_1 et leur utilisation.

Cette expérience a été mise en place, dans le cadre du projet *Breedcafs*, dans trois contextes très différents : ceux du Vietnam, du Cameroun et du Nicaragua.

À partir d'une petite quantité d'explants initiaux provenant d'un producteur de semences certifiées et renouvelée chaque année, les coopératives de femmes s'engagent à reproduire et commercialiser des

mini-boutures qu'elles distribuent ensuite aux producteurs de la zone. Les coopératives s'engagent aussi à reverser chaque année une redevance qui reconnaît le droit de l'obteneur.

La certification des semences : une garantie pour l'industrie

Ce processus a été initié depuis 2003 par l'alliance Cirad/Ecom au Nicaragua, au Mexique et au Costa Rica. L'industrie a bien compris l'intérêt de cette démarche et a créé et financé, depuis 2015, le World Coffee Research (WCR). Des programmes de vérification des variétés et des pépinières de production ont été mis en place, comme le programme *WCR Verified*. Celui-ci constitue la première norme mondiale pour les plants de caféier pour vérifier que les producteurs de semences de caféier ou de clones d'hybrides F₁ et les pépinières associées produisent des plantes saines et génétiquement pures.

Un prix juste pour un approvisionnement garanti en quantité et en qualité

En situation de crise des prix, ou en situation de coûts de production trop élevés, lorsque les termes de l'échange sont trop inégaux, les petits producteurs adoptent des stratégies de non-investissement qui ont des répercussions importantes et durables en termes de rendement et de qualité. Parallèlement, les producteurs de taille moyenne qui ont accès à des crédits bancaires usuriers sont ruinés et abandonnent parfois leurs fermes. Ainsi, l'instabilité des termes de l'échange, la volatilité des prix et la faible productivité nuisent à la modernisation de la filière et contribuent à sa perte de compétitivité. L'ensemble de la chaîne de valeur est finalement impacté. Le meilleur exemple est sans doute celui du Mexique, économie de premier plan mais dont la filière café, essentiellement en systèmes agroforestiers, est sans doute l'une des moins productives et des moins rentables du monde.

La solution du *fair trade* a été appliquée avec succès aux petits caféiculteurs du Mexique (Van der Hoff, 2010). Cette solution a ensuite été reprise pour de nombreuses denrées dans le monde. Mais il est

maintenant acquis — malgré des impacts non négligeables sur le niveau de vie des producteurs — que le *fair trade* ne suffit pas pour une modernisation en profondeur de la caféiculture. De plus, cette solution est réservée aux petits producteurs (moins de 5 ha). Nous pensons que le véritable enjeu est d'augmenter la rentabilité des exploitations. Cela passe par une augmentation de la productivité par hectare mais également par une meilleure valorisation du produit.

L'innovation variétale pour assurer la rentabilité des systèmes caféiers agroforestiers

La variété, un outil de traçabilité et de différenciation

La base du concept est que la variété et le café qu'elle produit deviennent un outil de traçabilité et un instrument de différenciation par sa relative nouveauté. En effet, comme il existe très peu de variétés[33], toute nouvelle variété apporte non seulement des nouvelles caractéristiques de résistance, de productivité, de qualité à la tasse, mais également un patrimoine génétique unique que les techniques modernes de marquage génétique sont capables de révéler non seulement dans le café vert mais également dans le café torréfié (Morel *et al.*, 2012). La possibilité de tracer le produit tout au long de la filière, jusqu'y compris dans le café torréfié, est un instrument unique pour garantir l'origine, les pratiques et, éventuellement, maintenir la rareté du produit qui lui assurera une demande de la part des acheteurs soucieux d'apporter de la nouveauté aux consommateurs.

Le *cluster* agroforestier *Business driven* : une nouvelle approche intégrative

L'idée générale est de favoriser la création des *clusters*. Un *cluster* est un groupement de producteurs qui s'associent sur un territoire donné pour produire selon des normes environnementales et agronomiques un café 100 % traçable. La qualité et la quantité sont fixées en fonction des besoins de l'industriel, qui en retour s'engage sur un prix minimum. Les *clusters* agroforestiers imposent un cahier des charges strict concernant la

plantation d'arbres d'ombrage (nombre, diversité par hectare), avec des services environnementaux associés, sur un terroir déterminé, en favorisant au maximum le commerce direct (*direct trading*) pour offrir un produit consistant et correspondant aux normes demandées en bout de chaîne par le torréfacteur industriel qui commercialise le produit selon ses standards de très haute qualité. L'ensemble des pratiques écoresponsables, le terroir, les pratiques d'un commerce plus équitable, et les qualités sensorielles propres à la variété et éventuellement accrues par le traitement post-récolte aboutissent à créer un café de haute qualité et différent.

Le *cluster* agroforestier *Business driven*, c'est donc : un terroir + des pratiques agroforestières (certifiées *Utz* et/ou *Rainforest*) + une transformation maîtrisée + une certification + 100 % de traçabilité.

Un prototype de 1 350 ha^[34] a été mis en place au Nicaragua autour de la variété 'Marsellesa' (variété Cirad-Ecom) pour produire un café d'exception exploité par l'industrie (Nespresso). Le concept est applicable à d'autres pays. Ce modèle a vocation à être répliqué à l'échelle de nouveaux terroirs, pour des projets de 1 000 à 2 000 ha environ et une production minimale annuelle de 2 500 tonnes de café, quantité minimale nécessaire pour justifier les investissements.

Perspectives


Le développement de systèmes agroforestiers durables et rentables chez le caféier passe par la sélection et l'adoption par les planteurs de nouvelles variétés hybrides d'Arabica adaptées aux conditions de faible luminosité caractéristiques de l'agroforesterie. Cela suppose de mieux comprendre les mécanismes moléculaires à la base d'une meilleure adaptation à l'ombrage, afin de redéfinir les cibles de sélection, mais également de créer des outils et des méthodes spécifiques. L'exemple de l'Arabica doit servir à d'autres filières pour proposer des variétés mieux adaptées à l'agro-écologie. C'est le cas de la majorité des plantes pérennes tropicales. Or, du fait des défis climatiques et épidémiques à venir, mais aussi pour se différencier et pour préserver la biodiversité, il faut non seulement créer continuellement de nouvelles variétés mais également les produire, les commercialiser et les faire adopter par les producteurs et par l'industrie.


Pour le café, les chercheurs, les industriels et les producteurs ont

collectivement commencé à trouver des solutions. Elles sont encore imparfaites mais représentent un progrès significatif. Il reste finalement à proposer des règles de gouvernance dans la filière café qui respectent les droits des pays propriétaires des ressources génétiques (notamment l'Éthiopie, la République de Côte-d'Ivoire, la République centrafricaine, le Gabon, le Cameroun, l'Angola, la République du Congo).


Le projet *Breedcafs* a aussi pour objectif d'étudier les conditions de l'émergence d'une industrie semencière pour les systèmes agroforestiers à base de caféiers, tout en proposant des règles d'éthique et de gouvernance commune pour la conservation et l'accès aux ressources génétiques, la création et la diffusion des variétés. L'exemple d'une recherche de gouvernance globale devrait inspirer des initiatives similaires sur d'autres espèces pérennes tropicales.

Références

Alves G.S.C., Torres L.F., Déchamp E., Breitler J.-C., Joët T., Gatineau F., Carvalho Andrade A., Bertrand B., Marraccini P., Etienne H., 2017. Differential fine-tuning of gene expression regulation in coffee leaves by CcDREB1D promoter haplotypes under water deficit. *J. Exp. Bot.*, 68 (11), 3017-3031, <https://doi.org/10.1093/jxb/erx166> .

Alves G.S.C., Ferreira Torres L., de Aquino S.O., Reichel T., Perreira Freire L., Gomes Vieira N., Vinecky F., This D., Pot D., Etienne H., Vilela Paiva L., Marraccini P., Carvalho Andrade A., 2018. Nucleotide diversity of the coding and promoter regions of DREB1D: A candidate gene for drought tolerance in *Coffea* Species. *Tropical Plant Biology*, 11 (1-2), 31-38, <https://doi.org/10.1007/s12042-018-9199-x> .

Anthony F., Combes C., Astorga C., Bertrand B., Graziosi G., Lashermes P., 2002. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. *Theor. Appl. Genet.*, 104 (5), 894-900.

Avelino J., Cristancho M., Georgiou S., Imbach P., Aguilar L., Bornemann G., Läderach P., Anzueto F., Hruska A.J., Morales C., 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7 (2), 303-321, <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9> .

Ballaré C.L., 2014. Light regulation of plant defense. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 65 (1), 335-363, <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040145> ☐.

Bertrand B., Alpizar E., Lara L., Santacreo R., Hidalgo M., Quijano J.M., Montagnon C., Georget F., Etienne H., 2011. Performance of *Coffea arabica* F₁ hybrids in agroforestry and full-sun cropping systems in comparison with American pure line cultivars. *Euphytica*, 181 (2), 147-158.

Bertrand B., Bardil A., Baraille H., Dussert S., Doubeau S., Dubois E., Severac D., Dereeper A., Etienne H., 2015. The greater phenotypic homeostasis of the allopolyploid *Coffea arabica* improved the transcriptional homeostasis over that of both diploid parents. *Plant Cell Physiol.*, 56 (10), 2035-2051, <https://doi.org/10.1093/pcp/pcv117> ☐.


Bertrand B., Montagnon C., Charmetant P., Georget F., Etienne H., 2012. Création et diffusion de variétés de caféiers Arabica : Quelles innovations variétales ? *Cah. Agric.*, 21, 77-88, <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0547> ☐.

Bertrand B., Vaast P., Alpizar E., Etienne H., Davrieux F., Charmetant P., 2006. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiol.*, 26 (9), 1239-1248, <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/26.9.1239> ☐.


Bobadilla Landey R., Cenci A., Georget F., Bertrand B., Camayo G., Dechamp E., Simpson J., Herrera J.C., Santoni S., Lashermeres P., Etienne H., 2013. High genetic and epigenetic stability in *Coffea arabica* plants derived from embryogenic suspensions and secondary embryogenesis as revealed by AFLP, MSAP and the phenotypic variation rate. *PloS ONE*, 8 (2), e56372. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056372> ☐.


Denœud F., Carretero-Paulet L., Dereeper A., Droc G., Guyot R., Pietrella M., Zheng C., Alberti A., Anthony F., Aprea G., Aury J.M., Bento P., Bernard M., Bocs S., Campa C., Cenci A., Combes M.C., Cruzillat D., Da Silva C., Daddiego L., De Bellis F., Dussert S5, Garsmeur O., Gayraud T., Guignon V., Jahn K., Jamilloux V., Joët T., Labadie K., Lan T., Leclercq J., Lepelley M., Leroy T., Li LT., Librado P., Lopez L., Muñoz


A., Noel B., Pallavicini A., Perrotta G., Poncet V., Pot D., Priyono., Rigoreau M., Rouard M., Rozas J., Tranchant-Dubreuil C., VanBuren R., Zhang Q., Andrade AC., Argout X., Bertrand B., de Kochko A., Graziosi G., Henry R.J., Jayarama., Ming R., Nagai C., Rounsley S., Sankoff D., Giuliano G., Albert V.A., Wincker P., Lashermes P., 2014. The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. *Science*, 345, 1181-1184.

Etienne H., Bertrand B., Dechamp E., Maurel P., Georget F., Guyot R., Breitler J.C., 2016. Are genetic and epigenetic instabilities of plant embryogenic cells a fatality? The experience of coffee somatic embryogenesis. *Human Genet Embryol.*, 6, 136, <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0436.1000136> .

Etienne H., Bertrand B., Montagnon C., Bobadilla Landey R., Dechamp E., Jourdan I., Alpizar E., Malo E., Georget F., 2012. Un exemple de transfert technologique réussi en micropropagation : La multiplication de *Coffea arabica* par embryogenèse somatique. *Cahiers agricultures*, 21,115-124.

Georget F., Courtel P., Garcia E.M., Hidalgo M., Alpizar E., Breitler J.C., Bertrand B., Etienne H., 2017. Somatic embryogenesis-derived coffee plantlets can be efficiently propagated by horticultural rooted mini-cuttings: A boost for somatic embryogenesis. *Sci. Horticult.*, 216, 177-185, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.017> .


Joët T., Laffargue A., Salmona J., Doulebeau S., Descroix F., Bertrand B., de Kochko A., Dussert S., 2009. Metabolic pathways in tropical dicotyledonous albuminous seeds: *Coffea arabica* as a case study. *New Phytol.*, 182 (1), 146-162, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02742.x> .

Kangasjärvi S., Neukermans J., Li S., Aro E.M., Noctor G., 2012. Photosynthesis, photorespiration, and light signalling in defence responses. *J. Exp. Bot.*, 63 (4), 1619-1636, <https://doi.org/10.1093/jxb/err402> .

Marraccini P., Vinecky F., Alves G.S.C., Ramos H.J.O., Elbelt S., Vieira N.G., Carneiro FA., Sujii P.S., Alekcevetch J.C., Silva V.A., DaMatta F.M., Ferrão M.A.G., Leroy T., Pot D., Vieira L.G.E., da Silva F.R., Andrade A.C., 2012. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea*

canephora. *J. Exp. Bot.*, 63 (11), 4191-4212, <https://doi.org/10.1093/jxb/ers103> .

MacArthur R.H., Wilson O., 1967. *The Theory of Island Biogeography*, Princeton Univ. Press, Princeton, États-Unis, 203 p.


McCook S., Vandermeer J., 2015. The Big Rust and the Red Queen: Long-term perspectives on coffee rust research (review). *Phytopathol.*, 105, 1164-1173. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0085-RVW> .

Mofatto L.S., Carneiro F.A., Vieira N.G., Duarte K.E., Vidal R.O., Alekcevetch J.C., Guitton M.G., Verdeil J.L., Lapeyre-Montes F., Lartaud M., Leroy T., De Bellis F., Pot D., Rodrigues G.C., Carazzolle M.F., Pereira G.A.G., Andrade A.C., Marraccini P., 2016. Identification of candidate genes for drought tolerance in coffee by high-throughput sequencing in the shoot apex of different *Coffea arabica* cultivars. *BMC Plant Biol.*, 16, 94.

Morel E., Bellanger L., Lefebvre-Pautigny F., Lambot C., Crouzillat D., 2012. DNA traceability for variety purity in Nespresso product. *In* : 24th *International Conference on Coffee and Science*, Association for Science and Information on Coffee (Asic), Costa Rica.

Passador-Gurgel G., Hsieh W.P., Hunt P., Deighton N., Gibson G., 2007. Quantitative trait transcripts for nicotine resistance in *Drosophila melanogaster*. *Nature Genet.*, 39 (2), 264.

Staver C., Guharay F., Monterroso D., Muschler R.G., 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: Shade-grown coffee in Central America. *Agroforest. Syst.*, 53, 151-170.

Toniutti L., Breitler J.C., Etienne H., Campa C., Doubeau S., Urban L., Lambot C., Herrera Pinilla J.C., Bertrand B., 2017. Influence of environmental conditions and genetic background of arabica coffee (*C. arabica* L.) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. *Front. Plant Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02025> .

Toniutti L., Breitler J.C., Guittin C., Doubeau S., Etienne H., Campa C., Lambot C., Herrera Pinilla J.C., Bertrand B., 2018 (soumis). Unravel the better agronomic performance of one *Coffea arabica* hybrid clone using a transcriptomic approach. *Tree Physiology*.

Vaast P., Angrand J., Franck N., Dauzat J., Génard M., 2005. Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. *Tree Physiol.*, 25, 753-760.

Van der Hoff F., 2010. *Manifeste des pauvres*, coll. Encres d'orient, Éditions Érick Bonnier, 78 p.

Van der Vossen H., Bertrand B., Charrier A., 2015. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): A review. *Euphytica*, 204, 243-256.

1 <https://www.agriculture.bf> (consulté le 14/08/2018).

2 <http://food-fertipartenaires.cirad.fr>.

3 *Tanety* : culture pluviale (dépendant uniquement des précipitations pour son approvisionnement en eau) réalisée sur les versants et les sommets des collines.

4 *System approach for the TRAnSition to bio-DIVersified agroecosystems, from process analysis to multi-scale co-conception with actors*, projet financé par la fondation Agropolis.

5 Voir par exemple <https://www.youtube.com/watch?v=Qy8WZfT0DqE> (consulté le 08/11/2018).

6 Respectivement Institut national des recherches agricoles du Bénin, Kenya Agricultural and Livestock Research Organization et Institut sénégalais de recherches agricoles.

7 International Centre of Insect Physiology and Ecology.

8 United States Agency for International Development Horticulture Innovation Lab.

9 <https://www.youtube.com/watch?v=FKyJjpC4p2g> (consulté le 08/11/2018).

10 <https://www.youtube.com/watch?v=Y6Ri6SuWTqk> (consulté le 08/11/2018).

11 <https://ali-sea.org>.

12 <https://ali-sea.org>.

13 #AgroecologyLearningAlliance.

14 #ALiSEAMekong.

15 Les films sélectionnés sont accessibles sur une *playlist* dédiée de la chaîne YouTube d'Alisea : <https://bit.ly/2CzuMqV>.

16 Ce dernier a mobilisé un représentant du MAF au Laos, la directrice du groupe de réflexion Focus on the Global South (<https://focusweb.org>), le directeur du réseau régional The Field Alliance (www.thefieldalliance.org) et un documentariste spécialiste des questions environnementales. La conférence peut être visionnée ici : <https://bit.ly/2CAm6Ai> (consulté le 23/06/2018).

17 <https://laouplands.org> (consulté le 25/06/2018).

18 Gamour : Gestion agro-écologique des mouches des légumes à la Réunion, <http://gamour.cirad.fr/site>.

19 www.agriculture-biodiversite-oi.org/Biophyto.

20 L'agriculteur ne passe plus son temps à traiter, mais adopte des activités plus agréables et libère du temps pour autre chose.

21 Les morpho-espèces recouvrent des espèces dont certaines ne sont pas déterminées au niveau taxonomique.

22 Armefflor : Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole ; FDGDON : Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles de la Réunion.

23 Arifel : Association réunionnaise interprofessionnelle des fruits et légumes ; AROPFL :

Association réunionnaise des organisations de producteurs en fruits et légumes.

24 Réseaux de Démonstration, expérimentation et production de références sur les systèmes économes en produits phytosanitaires.

25 Il est nécessaire de rénover les rejets des plants de caféier avec une certaine périodicité, tous les 4-7 ans selon les situations. Mais comme le caféier ne porte des fleurs que sur du bois de plus d'un an, il ne produira pas la première année après la rénovation, même s'il rattrapera son potentiel l'année suivante. Les producteurs ont donc tendance à retarder la rénovation les années de prix élevé, anticipant le fait que cette situation est fugace. Nous avons également observé des producteurs qui rabattaient moins drastiquement les arbres d'ombrage les années Enso (*El Niño - Southern Oscillation*) en prévision de longues et fortes saisons sèches.

26 Dans la région qui nous concerne cependant, deux pays ont été moins impactés que les autres, sans doute parce que les États ont été historiquement moins présents : le Guatemala et le Honduras.

27 Les structures parapubliques d'accompagnement de la caféiculture se sont développées tôt, sur la base d'une taxe prélevée sur l'exportation du café, et ont conservé une présence importante sur le terrain, comme par exemple Anacafé au Guatemala et Ihcafé au Honduras.

28 http://www.fonafifo.go.cr/psa/modalidades_psa.html ☞ (consulté le 08/04/18).

29 www.breedcafs.eu ☞.

30 Centre agronomique tropical de recherche et d'enseignement, Turrialba, Costa Rica.

31 Instituts de recherche sur le café centroaméricains.

32 Ecom Trading est un leader mondial dans le négoce des matières premières.

33 <https://varieties.worldcoffeeresearch.org> ☞.

34 <https://www.moringapartnership.com/cafetalera-nica-france> ☞ et <https://www.oikocredit.coop/what-we-do/partners/partner-detail/46387/nicafrance-nicaragua-outgrower-holdings> ☞ (consulté le 05/10/2018).

Partie 2

Focus thématiques

CHAPITRE 10

Les moteurs du développement de l'agro-écologie en Afrique subsaharienne : illustration sur les Hautes Terres malgaches

Jean-Michel Sourisseau, Jean-François Bélières, Jacques Marzin, Paulo Salgado, Florent Maraux

Les controverses qui accompagnent les définitions de l'agro-écologie sont des marqueurs des débats actuels sur l'avenir de l'agriculture, de sa place dans les sociétés et de l'évolution des modèles agricoles. Ces définitions sont plus ou moins restrictives quant à l'utilisation d'intrants de synthèse. Certaines concernent la seule dimension productive, d'autres prennent en compte les pratiques agro-écologiques dans l'ensemble du système alimentaire. Elles intègrent ou non la dimension sociale et sociétale des systèmes agro-industriels et les systèmes alimentaires alternatifs (Altieri *et al.*, 2017 ; Reboud et Hainzelin, 2017 ; FAO, 2015). Elles intègrent ou non un plaidoyer pour l'agriculture familiale et paysanne, telle que définie par la FAO[35], ou pour la petite agriculture (ces différentes formes d'organisations sont décrites dans Bélières *et al.*, 2014). Les différentes définitions de l'agro-écologie renvoient également à des formes variées d'action collective ou publique : la production de biens publics, l'accroissement des capacités locales de gestion des biens communs (Perret et Stevens, 2006 ; Knox et Meinzen-Dick, 1999), les différentes

formes d'apprentissage, des plus académiques aux formations de paysans à paysans (Altieri *et al.*, 2012). Par ailleurs, avec la réorientation des financements publics et/ou l'extension du domaine géré par les forces du marché, la question de la mondialisation des échanges est au cœur des différences entre les définitions : certaines s'inscrivent dans l'acceptation d'une globalisation des échanges dans un monde libéralisé quand d'autres sont en opposition radicale à la mondialisation.

Ce chapitre n'entend pas statuer sur ces controverses ; bien des écrits (et quelques chapitres du présent ouvrage) s'en chargent (Wezel *et al.*, 2009 ; Altieri *et al.*, 2017 ; FAO, 2015). Il a pour objectif d'interroger les dynamiques de changement sous-tendues par les transitions agro-écologiques en Afrique subsaharienne, en intégrant, dans l'esprit des définitions proposées par la FAO[36], toutes les dimensions économiques, sociales et environnementales du changement. Pour cela, ce chapitre revient sur les notions de transition agro-écologique et d'intensification agricole, les déclinaisons de cette dernière étant au cœur des réflexions sur les définitions de l'agro-écologie et des défis de développement, notamment en Afrique subsaharienne. Nous précisons ensuite les enjeux et les moteurs possibles de la transition agro-écologique ainsi que le contexte démographique et macro-économique dans cette région du monde. Enfin, en nous appuyant sur l'exemple des agricultures familiales des Hautes Terres malgaches, nous montrons le poids des contraintes structurelles et sociales dans les dynamiques agricoles et — malgré la force de ces contraintes, les injonctions à la modernisation et à la mise en œuvre d'une révolution verte tirée par des marchés *a priori* porteurs — la résilience d'une agriculture peu intensifiée, dont nombre de pratiques relèvent de l'agro-écologie, et qui perdure en l'absence d'une transformation structurelle. Nous concluons, au moins pour l'Afrique subsaharienne, sur l'insuffisance des seules solutions techniques (même quand leurs performances ne sont pas discutables) pour relever les défis d'augmentation des revenus tout en maîtrisant les inégalités, d'amélioration de la qualité de vie, d'augmentation de la production lorsque cela est nécessaire et d'aménagement du territoire dans un contexte de croissance démographique soutenue. Il en résulte un réel besoin de renouvellement des politiques agricoles, alimentaires et d'aménagement du territoire pour accompagner les changements des pratiques des producteurs, et impulser un développement des territoires qui valorise les pratiques agro-écologiques.

Un mouvement global controversé, des déclinaisons locales diverses

Afin de clarifier le propos et d'explicitier les référentiels mobilisés dans ce chapitre, il est nécessaire de préciser les principaux modèles agricoles présents en Afrique subsaharienne.

La majorité relèvent d'une agriculture mobilisant peu d'intrants (engrais ou pesticides), peu de mécanisation, et avec des pratiques relevant de l'agro-écologie (utilisation de semences paysannes, association et rotation de cultures, jachères courtes, association agriculture-élevage). Pour simplifier, mais en sachant qu'ils sont issus d'un processus historique d'adaptation, nous qualifierons ces modèles de « traditionnels ». Ces modèles s'accompagnent par ailleurs d'un fort recours à la pluriactivité ; ils constituent souvent une composante au sein de systèmes d'activité complexes. De fait, les ménages agricoles cherchent avant tout à optimiser les performances de ces systèmes d'activité, et à obtenir donc la meilleure contribution possible de l'agriculture dans ces systèmes.

À côté, une autre famille de modèles agricoles apparaît — difficilement et en restant très minoritaire — notamment pour l'agriculture d'exportation ou l'approvisionnement des villes, avec un niveau d'intensification plus élevé, par l'utilisation de semences améliorées et d'intrants de synthèse, souvent avec une plus grande maîtrise de l'eau. Nous la qualifierons de « conventionnelle », en référence au modèle d'intensification de la révolution verte largement diffusé à l'échelle planétaire.

Enfin, un troisième modèle émerge dans des situations particulières, avec des investissements étrangers dans la production agricole, notamment sur les périmètres irrigués, des formes alternatives d'agrobusiness portées par des investisseurs nationaux, généralement néophytes en agriculture, des agricultures fortement capitalisées en Afrique australe et en Amérique latine. Nous le qualifierons de « conventionnel mécanisé » : à l'intensification par les intrants s'ajoute le développement de la mécanisation, qui augmente sensiblement la productivité du travail en réduisant le nombre d'emplois nécessaires à la production agricole.

Alors qu'à l'échelle mondiale, les modèles agricoles conventionnels, mécanisés ou non, sont stigmatisés pour leurs impacts environnementaux et sociaux négatifs et leur manque de durabilité, le constat de leur

essoufflement semblant faire consensus dans la communauté de la recherche (IAASTD, 2009), comme dans les instances internationales de gouvernance de l'agriculture et de l'alimentation (FAO, 2015, 2016), leur développement est encore un objectif implicite des politiques agricoles nationales et régionales de l'Afrique subsaharienne. Dans cette région, prime la nécessité d'intensifier la production pour augmenter la biomasse alimentaire, énergétique et fibreuse et satisfaire une demande grandissante (cette nécessité quoique moins partagée aujourd'hui à l'échelle mondiale demeure néanmoins globalement admise). Au final, les réponses au besoin d'une agriculture à la fois plus productive, et plus vertueuse pour l'environnement et la société, diffèrent jusqu'à être polémiques. Elles vont de la poursuite des principes de la révolution verte (Agra, 2016), de son inflexion par des voies plus respectueuses des ressources naturelles (Griffon, 2013), à un appel à des changements de paradigme radicaux fondés sur l'écologisation de la production et la refonte des systèmes alimentaires (Altiéri, 2012 ; Giraldo, 2018), ou au contraire à l'exploration de modèles d'agriculture résolument tournés vers les nouvelles technologies et l'artificialisation poussée à l'extrême au sein même des mégalopoles (Thérond *et al.*, 2017). Mais quelles que soient les options prises, les réponses aux défis conduisent à des évolutions de l'ensemble des systèmes agro-alimentaires ; nos regards ne peuvent être braqués sur le seul secteur de la production.

Les débats autour de l'agro-écologie renvoient donc à des conceptions divergentes, largement liées aux conditions de leur émergence :

- une agro-écologie des pratiques, reposant sur des changements techniques et organisationnels n'affectant pas la gouvernance d'ensemble des systèmes agro-alimentaires et dont le moteur est la prise en compte des externalités environnementales négatives du modèle technique de la révolution verte ;
- une agro-écologie intégrale, plus politique, prônant conjointement un changement de paradigme technique et une recomposition des systèmes alimentaires, en rupture avec l'industrialisation des modèles de production et de consommation (Giraldo et Rosset, 2018).

À ces deux conceptions, il nous semble nécessaire d'en ajouter une troisième correspondant à l'agriculture traditionnelle, particulièrement présente en Afrique subsaharienne. Il ne s'agit pas d'écologiser des pratiques agricoles intensives, mais d'intensifier des pratiques relevant pour la plupart de l'agro-écologie. En effet, dans cette région, les systèmes

de production n'ont pas, ou très peu, intégré les pratiques de la révolution verte, et ils doivent intensifier la production pour « répondre » à la pression démographique qui fragmente les exploitations familiales, et à des besoins croissants de consommation dans les zones urbaines comme rurales. La pression sur les ressources fragilise ces systèmes dont la durabilité est dépendante de savoirs et savoir-faire paysans qui sont peu mobilisés dans les deux autres conceptions des transitions agro-écologiques définies ci-dessus. Ces savoirs offrent des solutions adaptées à la fertilité des sols, à l'association et aux rotations de cultures, à la diversification des productions, à l'entretien de la biodiversité cultivée, à la défense des cultures, à l'intégration agriculture-élevage ou encore à l'intégration des arbres dans les processus de production agricole, etc.

Tableau 10.1. Principales caractéristiques des trois conceptions de l'agro-écologie.

	Agro-écologie des pratiques	Agro-écologie intégrale	Intensification agro-écologique
Types d'exploitation	Tous	Petite agriculture familiale	Agriculture familiale
Intégration marchande	Maximale	Limitée	Variable
Systèmes alimentaires	Mondialisés	Territorialisés	Variation
Labellisation	Non	Possible	Non
Niveau de changement des pratiques	Parcelle et troupeau	De la parcelle et du troupeau au paysage	Parcelle, troupeau et exploitation
Types d'intrants	De synthèse	Variable, mais peu	Variable
Diversification des productions	Pas recherchée	Oui	Oui
Types d'incitations	Par l'offre	Mixte	Peu jusqu'à présent
Recours aux OGM	Oui	Non	Généralement non

Ces débats sur la conception de l'agro-écologie sont mondiaux mais ont aussi une dimension locale. Les options d'action sont très différentes selon les dynamiques des marchés, les performances économiques et sociales à

un niveau national ou régional. Elles divergent aussi selon que la gouvernance de l'agriculture et de l'alimentation permette ou non d'impulser et d'accompagner effectivement des changements, et selon que les processus d'artificialisation et de spécialisation de la révolution verte soient avancés ou pas (Baret *et al.*, 2013). La transition agro-écologique (au singulier) est invoquée par toutes les parties prenantes prônant un changement des pratiques et une rupture avec l'agriculture conventionnelle, mécanisée ou pas. Cette notion de « transition » appliquée à l'agriculture de l'Afrique subsaharienne invite donc, au-delà de l'injonction simple de « passer d'un état à un autre », à valoriser les pratiques écologiques et à faire évoluer les fonctions que l'agriculture doit remplir pour la société. Mais utilisée au singulier, elle décrit un mouvement qui serait linéaire et global, alors que les sentiers de l'écologisation sont extrêmement divers. Elle renvoie, notamment dans de nombreux pays en développement n'ayant accompli au mieux que partiellement le changement structurel de leur économie, à des défis spécifiques concernant la création d'emplois dans des proportions inédites, liées à la croissance démographique, et alors que l'industrie en crée encore peu (Pretty *et al.*, 2011 ; Losch *et al.*, 2012).

Les deux conceptions de l'agro-écologie « des pratiques » et « intégrale » renvoient le plus fréquemment à la conversion d'agricultures post-révolution verte, à productivité élevée du travail et fortes consommatrices d'intrants de synthèse, d'eau et de terre, vers des agricultures plus respectueuses de l'environnement, valorisant davantage les processus écologiques naturels dans leurs itinéraires techniques et minimisant leurs impacts négatifs sur la nutrition, la santé et les équilibres sociaux des populations concernées (Gliessmann, 2015 ; IAASTD, 2009 ; IPED-Food, 2016 ; Griffon, 2017 ; Duru *et al.*, 2014). Or des pans entiers de l'agriculture africaine ne sont pas entrés dans le système productiviste de la révolution verte. Ils ont des pratiques de type agro-écologique mais ont besoin d'augmenter leur productivité et donc d'intensifier ces processus écologiques. Dans ces situations, il s'agit d'intensification agro-écologique plus que de transition agro-écologique. En effet, en Afrique subsaharienne, le point de départ des trajectoires d'écologisation est une agriculture essentiellement familiale et dite « traditionnelle » car basée sur des savoirs et savoir-faire souvent ignorés par les tenants de la recherche mondialisée – et non un modèle productiviste intensif qui générerait par ailleurs une dépendance technologique. Les moteurs de changement et les leviers des politiques agricoles sont donc radicalement différents de ceux visant une

conversion agro-écologique telle que prônée en Europe ou sur le continent américain.

En Afrique subsaharienne, des travaux portent sur les trajectoires possibles de l'agro-écologie, notamment ceux du panel d'experts IPES-food[37], de l'Alliance for Food Sovereignty in Africa (Afsa, 2016), ou encore du programme ProIntensAfrica[38]. Des référentiels scientifiques existent aussi sur les différentes formes d'intensification durable (ou du moins ainsi nommées dans la littérature), qu'elles aient une portée globale comme l'agriculture de conservation ou l'agroforesterie, ou qu'elles ne concernent que des éléments techniques spécifiques, comme la lutte intégrée contre les maladies et les ravageurs (Scopel *et al.*, 2013 ; Pretty *et al.*, 2011 ; Tittonell *et al.*, 2012). Ainsi, l'écologisation de l'agriculture peut s'appuyer sur les résultats d'un nombre croissant de recherches et d'innovations. Les propositions, comme souvent les recherches, se focalisent sur des options techniques pour faire évoluer des agricultures dites « traditionnelles » vers des modèles et des principes alternatifs. Ces innovations combinent généralement une petite partie des savoirs attachés aux territoires et aux écosystèmes locaux, et des éléments exogènes ayant fait leurs preuves ailleurs, notamment lors de transitions agro-écologiques des agricultures conventionnelles (mécanisées ou non), réalisées dans des pays industrialisés ou émergents. Cette hybridation entre savoirs locaux et connaissances exogènes est un réel défi scientifique car elle doit, d'une part, créer des outils statistiques *ad hoc* pour prendre en compte la complexité des pratiques traditionnelles, et d'autre part construire des connaissances nouvelles propres à l'intensification agro-écologique des pratiques traditionnelles d'Afrique subsaharienne.

Par ailleurs, la transition agro-écologique est souvent promue sans que soit menée de réflexion spécifique sur les conditions et marges de manœuvre pour une réelle transformation des systèmes agricoles et alimentaires. Or, tout changement technique (utilisation de nouveaux intrants et matériels) et organisationnel (émergence de chaînes de valeur adaptées aux différentes formes d'agro-écologie et intégration des producteurs dans ces chaînes de valeur, émergence de chaînes logistiques et organisationnelles pour l'accès au matériel végétal, à la petite mécanisation ou à la fumure organique) nécessite des capacités matérielles et cognitives qui ne vont pas de soi. L'émergence d'une intensification agro-écologique en Afrique subsaharienne doit permettre aux exploitations agricoles de sortir des logiques défensives d'adaptation aux risques et aux pressions sur les

ressources qui réduisent leurs capacités d'innovation (Whiteside, 1998). Les innovations techniques doivent s'accompagner de changements favorables de l'environnement des exploitations agricoles familiales, mais aussi de l'ensemble des acteurs des systèmes alimentaires : amélioration de l'accès aux moyens de production et des biens publics favorables au marché (communication, transport, stockage, réglementations, permettant la traçabilité, etc.), structuration des acteurs dans les différents segments des filières et des systèmes alimentaires pour peser dans la définition et la mise en place des stratégies de développement agricoles, et au-delà sur les modèles de développement.

Enfin, la polysémie, les imprécisions et les incomplétudes de la notion de « transition agro-écologique » invitent, particulièrement en Afrique subsaharienne, à mieux comprendre les aspirations des différents types d'acteurs et les moteurs concrets des transformations agricoles aux différents niveaux de décision et de coordination. Cette compréhension porte autant sur les systèmes de production et les systèmes agro-alimentaires que sur les capacités des États à orienter, réguler et renforcer les capacités des acteurs. Avant de se pencher sur le cas des Hautes Terres malgaches, il est utile de discuter les rapports parfois ambigus dans la littérature entre intensification agro-écologique et transition agro-écologique.

Des débats anciens partiellement renouvelés

L'intensification de l'agriculture est aujourd'hui majoritairement définie selon trois dimensions principales : des rendements par hectare plus élevés pour une culture donnée ; des rendements par unité de temps plus élevés grâce à la multiplication des cycles de culture au cours d'une année ; le remplacement de variétés à faible rendement par d'autres permettant de meilleurs rendements à l'hectare ou des revenus plus importants par unité de facteur de production (Naylor, 1996).

L'assimilation de l'intensification à l'augmentation des quantités produites (des biens et/ou de leur valeur) et à la croissance de la productivité des facteurs (terre, capital, travail) renvoie à un débat plus ancien et plus large sur les causes et les moteurs de la transformation de l'agriculture. Selon Le Bras (2003), malgré leurs divergences, Malthus et Boserup, dans leurs approches des liens entre production de moyens de subsistance et

croissance démographique, définissent l'intensification comme la recherche des meilleures combinaisons pour ajuster les ressources et les facteurs de production aux besoins de subsistance. Les exigences de la modélisation mathématique ont conduit, dans les tentatives de formalisation des travaux et conclusions de ces deux auteurs fondateurs (depuis les travaux de Quetelet jusqu'à ceux de Solow), à la simplification de leurs hypothèses. Dans cette simplification, l'intensification n'est plus une question d'équilibre mais une question d'accroissement de la productivité globale des facteurs, et en particulier du travail et de la terre pour dégager un revenu monétaire plus important à l'échelle de l'exploitation agricole. Le même principe de simplification serait à l'œuvre dans l'appréhension agronomique de l'intensification. Plutôt que la recherche d'un équilibre, la recherche de l'augmentation permanente des quantités produites et des revenus revient à introduire, et à gérer dans le temps, un déséquilibre. Cette gestion impose aux exploitants agricoles un déplacement de leur recherche d'autonomie autour de la subsistance vers une plus grande dépendance à des acteurs et à des éléments extérieurs aux exploitations agricoles et aux systèmes alimentaires.

En se référant aux principes malthusien et booserupien de l'intensification agricole tels que redéfinis par Le Bras (2003), l'agro-écologie peut être repensée comme la recherche d'un équilibre dans la gestion d'un ensemble de ressources. Dans le référentiel de ces auteurs, cet équilibre est d'abord une réponse à une pression accrue sur les ressources naturelles, notamment du fait de la croissance démographique et du besoin de production qu'elle implique (Bonny, 2011 ; Brookfield, 2001). Mais le raisonnement peut être étendu aux besoins monétaires, à l'adaptation aux changements climatiques, à la conservation et la restauration de la biodiversité et plus largement à la production de biens publics bénéficiant à l'ensemble de la société. Avec un tel raisonnement, les moteurs de l'intensification et des transitions agro-écologiques ne seraient plus seulement tournés vers l'augmentation des productions en volume et en valeur (Duru *et al.*, 2014).

Dès lors, les transitions agro-écologiques devraient être des mouvements d'intensification visant la maximisation, pour l'ensemble de la société, d'un ensemble de services environnementaux, sociaux et économiques garantissant la durabilité de la production agricole, des systèmes alimentaires et du modèle de développement. Si « l'agro-écologie intégrale » s'inscrit bien dans ce schéma, ce n'est pas le cas de « l'agro-écologie des pratiques » (dont le projet est plus restreint) et il importe

certainement de penser l'intensification agro-écologique à l'aune de ces objectifs.

Notamment si l'on se place dans la perspective de l'intensification agro-écologique pour l'Afrique subsaharienne, il importe que les services environnementaux et sociaux soient valorisés, soit par les prix des biens et des services tout au long des filières agro-alimentaires, soit par d'autres incitations hors marché. Les changements nécessaires sont conséquents et difficilement imaginables sans une action publique forte pour desserrer les contraintes qui pèsent sur les acteurs qui souhaitent engager des transitions, mais aussi pour favoriser des rapports de prix qui ne pénalisent pas ces acteurs face à la concurrence de ceux qui ne s'engagent pas dans l'écologisation. Force est de constater que les différentes agricultures du monde ne sont pas égales face aux leviers qu'elles peuvent mobiliser et face à l'accompagnement qu'elles peuvent attendre des pouvoirs publics.

La transition agro-écologique au regard des grands enjeux de l'Afrique subsaharienne

L'Afrique subsaharienne est la dernière grande région du monde à engager sa transition démographique^[39]. Le rythme de décroissance y est bien plus lent que celui qu'ont connu avant elle les autres régions du monde, et notamment l'Asie. Avec 2,5 milliards d'habitants attendus en 2050, la population actuelle aura doublé alors que dans le même temps la Chine et l'Europe verront le nombre de leurs habitants diminuer (Losch, 2016b). L'Afrique concentrera 53 % de l'augmentation de la population mondiale dans les trois prochaines décennies (United Nations, 2017). Cette poussée s'explique par le maintien d'un nombre élevé d'enfants par femme — entre quatre et cinq et jusqu'à plus de six dans certains pays du Sahel.

Une des conséquences sera la densification de la plupart des territoires ruraux. L'Afrique subsaharienne s'urbanise rapidement (entre 2014 et 2050, la part des urbains dans la population totale passera de 37 à 55 %), mais la population rurale continuera d'augmenter au-delà de 2050. Par ailleurs, cette région ne pourra sans doute pas bénéficier pleinement du dividende démographique, cette période propice au décollage économique, durant laquelle le ratio entre inactifs et actifs diminue, avec moins de jeunes dépendants non encore en âge de travailler et encore peu de personnes âgées (comme cela s'est manifesté dans d'autres régions du

monde). Le phénomène y sera faible et diffus à cause de la lenteur de la baisse de la fécondité alors que le vieillissement de la population s'accélère du fait de l'augmentation de la durée de vie (Guengant, 2011).

Les cohortes de nouveaux actifs devront trouver un emploi dans des économies peu diversifiées où les activités primaires et notamment agricoles sont encore majoritaires ; en effet, autre spécificité, le sous-continent n'est pas engagée véritablement dans sa transformation économique. Les jeunes entrant sur le marché du travail ne pourront vraisemblablement ni être employés par un secteur manufacturier encore embryonnaire, ni par un secteur tertiaire formel peu important. Ils devront trouver des emplois ou des activités dans l'agriculture et dans le secteur informel urbain, certes dynamique mais offrant aujourd'hui peu d'emplois décents. Par ailleurs, si le secteur informel peut être source d'innovation et de créativité, il offre peu de leviers de redistribution parce qu'il échappe à la fiscalité. Plus largement, le dynamisme de ce secteur informel pose la question d'un besoin de renouvellement des modes de gouvernance pour mieux le reconnaître, afin de moderniser l'économie et d'assurer sa diversification hors du secteur primaire.

Ce panorama invite à questionner les capacités du secteur agricole à faire face à ces défis. La modernisation rapide de l'agriculture des pays « développés » conduit à une concentration des moyens de production dans un nombre réduit d'exploitations et à une augmentation rapide de la productivité du travail grâce à la mécanisation et, par suite, à une éviction d'une partie de la main-d'œuvre agricole vers les autres secteurs. En Afrique subsaharienne, un tel processus de modernisation se heurte à l'insuffisante diversification des économies nationales et territoriales[40]. Sans pouvoir compter à moyen terme sur un développement industriel ou sur une formalisation du secteur tertiaire, les modèles agricoles et les différents types d'intensification doivent offrir des emplois décents à la majorité des actifs qui sont encore de fait, par choix ou par manque de choix, dans l'agriculture. Il faut donc combiner des stratégies de diversification économique tout en maximisant le potentiel d'emploi dans l'agriculture (mais aussi plus largement dans l'ensemble du secteur primaire), ce qui suppose de sortir d'un raisonnement uniquement sectoriel (Losch, 2016a).

L'Afrique subsaharienne a donc encore besoin de l'agriculture comme moteur de sa croissance et de sa transformation. Cette agriculture doit être

inclusive, ancrée dans des territoires se densifiant, assurer une augmentation des revenus et la sécurité alimentaire des ruraux et des urbains, et fournir massivement des emplois décents dans les zones rurales. Elle doit le faire dans un contexte de grande vulnérabilité du monde agricole et du changement climatique qui modifie les conditions de production. Elle doit aussi le faire dans un monde marchand mondialisé, toujours plus concurrentiel, avec une instabilité des prix agricoles nationaux et internationaux et des tensions sur le prix des intrants conventionnels (dont la production est concentrée dans les pays industrialisés), alors même que les pays africains ont de moins en moins de possibilités pour protéger leur agriculture.

Face à ces enjeux, l'intensification agro-écologique telle que définie plus haut semble une voie prometteuse pour l'Afrique subsaharienne, notamment pour affronter le défi de l'emploi (Pretty *et al.*, 2011). Les (rares) comparaisons disponibles entre agro-écologie et formes conventionnelles de l'agriculture sur le plan du contenu en emploi et des performances confirment ce potentiel (Pimentel *et al.*, 2005 ; Altieri *et al.*, 2012). Par ailleurs, les pratiques agro-écologiques semblent plus adaptées à l'environnement social, économique et écologique des exploitations agricoles familiales du sous-continent : elles sont moins intensives en capital physique et financier, valorisent mieux *a priori* le capital social et culturel des territoires ruraux et les ressources locales (savoirs, ressources naturelles, etc.), sans induire de dépendances technologiques. Une telle intensification agro-écologique nécessiterait, y compris pour générer des emplois décents, que les services, aujourd'hui pour la plupart non marchands, rendus par une agriculture plus vertueuse, soient rémunérés. Cela supposerait aussi que des politiques volontaristes de grande ampleur soient mises en place. Or, de telles perspectives ne sont pas en résonance avec les changements des agricultures et des systèmes alimentaires promus actuellement en Afrique subsaharienne. Des politiques tournées vers la recherche de compétitivité sur des marchés mondialisés des commodités, avec pour modèle celui de la révolution verte, dominant encore.

À l'échelle du sous-continent, c'est la pression démographique et l'inquiétude sur la disponibilité des ressources productives, notamment foncières, bien plus que les signaux de marché, la préservation de l'environnement ou la capacité à faire évoluer les systèmes alimentaires, qui expliquent les transformations agricoles[41]. La pression foncière induite par les investissements étrangers ou d'entreprises nationales dans

la production agricole est un facteur supplémentaire de fragilisation de l'agriculture traditionnelle. Force est de constater également que les politiques publiques nationales ou locales ont eu, dans la période récente, peu d'impacts positifs sur les transformations agricoles et alimentaires. Les innovations les plus marquantes sont celles des producteurs et des acteurs des systèmes alimentaires eux-mêmes, et elles relèvent davantage de stratégies pour préserver les moyens de production et diversifier les activités rémunératrices, que d'une écologisation des pratiques. L'exemple des Hautes Terres malgaches, que nous allons détailler maintenant, illustre ces mécanismes contraints.

Un développement de l'agro-écologie contraint : le cas du Vakinankaratra

L'étude de cas apporte un regard sur le blocage des transitions dans les systèmes de production, et ouvre des perspectives pour une meilleure prise en compte des systèmes alimentaires pour lever ces blocages. Dans la région du Vakinankaratra (Madagascar), les conditions du milieu naturel favorables à la production agricole, la diversité des systèmes de production, les savoir-faire des agriculteurs et quelques filières plus ou moins bien structurées avec différents acteurs publics et privés, constituent un réel potentiel de développement agricole. Mais, jusqu'ici, les politiques agricoles n'ont pas permis d'enclencher la transformation structurelle de l'agriculture et de l'économie rurale, ni par une intensification conventionnelle — largement promue —, ni en favorisant l'intensification des pratiques agro-écologiques existantes, pourtant susceptibles d'évoluer sous contrainte d'une pression démographique élevée et croissante.

Les blocages à l'intensification agricole

Au cours des 20 dernières années, trois grandes orientations, assez contrastées, ont caractérisé ces politiques, largement inspirées des grandes agences internationales :

- la poursuite du désengagement de l'État ;
- la volonté de produire davantage pour assurer la sécurité alimentaire d'une population croissante, notamment urbaine, mais aussi pour exporter ;
- la prise en compte des aspects environnementaux, notamment sous

l'impulsion des grandes ONG internationales de conservation de la nature, mais aussi avec l'intégration, tout au moins partielle, du concept de développement durable dans la construction des politiques rurales (Raharison, 2014 ; Bosc *et al.*, 2010).

Les politiques agricoles visaient essentiellement à favoriser l'intensification conventionnelle, avec une accélération au cours des années 2000. Il s'agissait surtout, devant la rareté des moyens publics de financement, de mettre en place des incitations fiscales pour que les agro-industriels s'installent et organisent des filières de production économiquement performantes (Burnod *et al.*, 2011). Conjointement, des aides devaient faciliter l'accès aux intrants pour la petite agriculture familiale. Ces politiques n'ont pas produit les résultats escomptés en raison des freins institutionnels et du déficit d'infrastructures de production et de marché. Quelles que soient la taille et la forme des unités de production concernées (agriculture familiale faiblement différenciée et très peu équipée, ou entreprise d'agrobusiness financée par des fonds étrangers), l'environnement de la production et du marché sont extrêmement défavorables. Les politiques ont aussi, plus récemment et progressivement, promu des pratiques d'intensification agro-écologique, notamment avec la promotion du système de riziculture intensive (SRI ; Serpantié, 2013) et de l'agriculture de conservation (Penot *et al.*, 2015), mais qui jusqu'ici n'ont pas diffusé de manière significative. Par exemple dans le Moyen ouest du Vakinankaratra, seulement 2 % des exploitations agricoles pratiquent les techniques de semis sous couverture végétale, quatre ans après la fin d'un projet de diffusion (Razafimahatratra *et al.*, 2017). Intensification conventionnelle et intensification agro-écologique sont restées inabouties, les agriculteurs devant assumer seuls les changements dans un environnement peu favorable à la prise de risques. Les politiques agricoles ne sont pas seules en cause. Au niveau national, depuis l'indépendance, la succession de crises politiques fait que les principaux indicateurs socio-économiques se dégradent (voir notamment Razafindrakoto *et al.*, 2017) et que le changement structurel est bloqué.

Le pays reste très agricole avec près de 80 % des ménages ayant au moins une activité agricole (Instat, 2011) et une grande pauvreté rurale en lien avec la faible productivité agricole mais aussi et surtout en lien avec le manque des facteurs de production disponibles par famille. Alors que la population double en une génération, les secteurs secondaire et tertiaire peinent à se développer et sont incapables d'absorber les jeunes entrant

dans la vie active ; le secteur agricole absorbe donc la plus grande partie de la croissance démographique. À l'échelle macro-économique, l'indice net de production par personne est en baisse et le rapport entre exportations et importations de produits agricoles se dégrade. Du fait de la pression démographique croissante, les ressources productives sont réduites et, dans la plupart des cas, ne permettent plus à toutes les familles de subvenir à leurs besoins.

Selon les recensements agricoles, en 1985, la superficie moyenne par exploitation agricole dans le Vakinankaratra était de 1,07 ha, elle a baissé à 0,55 ha en 2005 (MAEP, 2007), en lien avec la croissance démographique et le transfert du patrimoine entre générations. La part des exploitations agricoles ayant moins de 1,5 ha de superficie était de 84 % en 2010 (Instat, 2011). Le nombre moyen de bovins par exploitation a baissé de 6 à 4 têtes en 20 ans. Le prolongement de ces tendances résulte en une pression foncière très élevée aujourd'hui dans certaines zones, avec des exploitations moyennes de 0,4 ha et comptant seulement 3,3 bovins (Sourisseau *et al.*, 2016). Pourtant, il existe, au niveau national et même dans la région Vakinankaratra, des zones très peu peuplées qui constituent des réserves potentielles pour l'extension de l'agriculture. Mais ces zones sont éloignées, sans infrastructure et connaissent une forte insécurité. Il n'y a pas de politiques d'aménagement significatives qui permettraient le déplacement des petites exploitations agricoles familiales en provenance des zones les plus densément peuplées (Bélières *et al.*, 2016). Les exploitations agricoles ont des stratégies d'intensification qui passent par la diversification des activités.

Les résultats des paragraphes suivants sont tirés de deux études. L'une porte sur le fonctionnement des exploitations agricoles et du système agraire dans le moyen-ouest du Vakinankaratra (Razafimahatratra *et al.*, 2017). Une autre porte sur les trajectoires d'évolution suivies par 24 exploitations agricoles familiales de la région, s'attachant à comprendre la mise en œuvre, dans la durée, des processus d'intensification (Rakotoarisoa *et al.*, 2016), puis à identifier des perspectives de l'écologisation (au sens d'une plus grande intégration des processus naturels dans les processus cultivés) croissante de l'agriculture porteuse de développement.

Les exploitations qui dégagent les revenus agricoles les plus élevés en valeur absolue et par actif familial sont celles qui ont le plus d'activités :

riz de bas-fonds, cultures pluviales sur les collines (*tanety*), productions fruitières ou maraîchères, élevage laitier, petits élevages, combinaison d'activités agricoles et non agricoles, etc. La riziculture, et plus particulièrement sous sa forme irriguée ou inondée, occupe une place importante (42 % de la superficie cultivée et 58 % du produit brut des productions végétales), car elle permet d'assurer la base alimentaire de la famille en plus de fournir une production à vendre (environ le tiers de la production). Les autres cultures sont nombreuses : 40 espèces annuelles ou pérennes cultivées ont été inventoriées lors d'une enquête auprès de 240 exploitations (Raharison *et al.*, 2017). Près de la moitié des exploitations a un assolement avec au moins quatre grands types de cultures : riz, maïs, légumineuses, tubercules. La pratique de l'association de cultures est généralisée, 78 % des exploitations ont au moins une parcelle cultivée en association ; au total ce sont 22 % des parcelles et 27 % de la superficie cultivée qui sont concernées (en sachant que le riz de bas-fonds représente 28 % de la superficie annuelle et qu'il est cultivé en culture pure). Les associations sont très diverses et, au total, 44 associations différentes ont été recensées. La polyculture est en général associée à l'élevage. Les élevages bovin, porcin et avicole sont pratiqués respectivement par 70, 65 et 80 % des ménages. L'élevage bovin est répandu avec 56 % des exploitations qui possèdent au moins un zébu, mais la répartition des animaux est inégale (4 % des exploitations possèdent 36 % du capital que représente les animaux). L'élevage fournit la traction animale et l'essentiel de la fumure apportée sur les champs. Le recours aux intrants agricoles achetés, et en particulier aux engrais minéraux, reste faible : 24 % des exploitations en utilisent à une dose inférieure à 40 kg/ha/an, soit en moyenne pour la superficie cultivée totale, une dose inférieure à 20 kg/ha/an (Razafimahatratra *et al.*, 2017). Les produits phytosanitaires sont un peu plus utilisés (40 % des exploitations), mais à des doses très faibles car limités pour l'essentiel à des insecticides/fongicides pour traiter les semences (dépense moyenne annuelle de 10 000 Ar^[42] par exploitation, soit moins de 3 euros). Le recours aux produits vétérinaires est plus largement répandu (79 %) mais les montants moyens ne sont pas importants (41 000 Ar/an, soit environ 10 euros). Les coûts de production des cultures sont pour 90 % constitués par l'achat de travail (main-d'œuvre journalière ou payée à la tâche). Le travail reste essentiellement manuel, même si la traction animale est répandue (43 % des exploitations sont équipés). La majorité des exploitations opte pour la fumure organique en valorisant les effluents d'élevage. Du fait des petites surfaces, le recyclage des nutriments au sein

de l'exploitation, moins onéreux, est privilégié. La saturation des terres de bas-fonds pour la riziculture irriguée a favorisé l'installation des cultures pluviales sur les collines et en particulier du riz. L'extension de la riziculture pluviale est donc bien une forme d'intensification agro-écologique par la diversification et par l'amélioration des systèmes rizicoles eux-mêmes, qui a été fortement accompagnée par la recherche.

La diversification des activités est une composante des stratégies anti-risques pour faire face aux chocs. Ainsi, suite à la crise politique de 2009 — qui a vu l'arrêt des activités d'une des plus grandes entreprises de transformation de lait, la dégradation brutale des conditions de marché et la rupture de débouchés — certains éleveurs laitiers engagés dans un processus d'intensification conventionnelle se sont réorientés vers des processus d'intensification agro-écologique, avec la recherche d'une plus grande autonomie vis-à-vis de l'approvisionnement en intrants. La diversification est un élément structurel de la stratégie d'intensification elle-même, qui vise une meilleure valorisation des ressources de l'exploitation, en jouant sur l'intégration des activités et leur complémentarité. Les exploitations les plus intensives, les plus productives, sont en général les plus diversifiées. Ces caractéristiques, combinées à une faible utilisation d'intrants minéraux et à une quasi-absence de motorisation, éloignent ces exploitations des principes de l'intensification conventionnelle : les pratiques relèvent de fait davantage d'une agro-écologie optimisant les ressources et les savoirs locaux. Les systèmes sont diversifiés, basés sur des associations et rotations de culture, l'intégration agriculture-élevage, la réalisation d'aménagements fonciers avec essentiellement du travail manuel (rizières et terrasses), une intensification par le travail (repiquage, démariage, sarclages manuels), etc. On note même une certaine résistance à l'adoption des techniques conventionnelles, liée le plus souvent à des contraintes d'accès ou de coût, mais aussi parfois à des références culturelles liées au « respect de la terre ». Il y a là bien plus que des stratégies anti-risques, avec des pratiques qui reposent sur un réel savoir-faire et des connaissances empiriques en matière d'agro-écologie, qui devraient inspirer la recherche et le développement (Raharison *et al.*, 2017).

Les enquêtes montrent que la disponibilité en facteurs de production et leur adéquation aux besoins économiques et sociaux sont les éléments-clés des processus d'évolution. Les déséquilibres entre démographie des exploitations et dotation en moyens de production entravent les

changements et ont des effets néfastes sur la productivité de l'exploitation. Le déséquilibre le plus fréquent concerne le foncier. Une exploitation agricole qui voit sa main-d'œuvre familiale augmenter alors que le foncier disponible déjà limité ne progresse pas, ne dispose pas aujourd'hui des ressources pour augmenter suffisamment la productivité du travail familial sur l'exploitation et ne peut compléter les revenus qu'en recherchant des activités hors exploitation, souvent peu rémunératrices (journalier agricole, charbonnier, briquetier). À l'inverse, les capacités productives sont sensibles à la fragilité du capital humain : maladies et décès sont des chocs qui obligent parfois à vendre des bœufs de labour ou des terres. Le marché foncier est très actif dans cette région de Madagascar, essentiellement entre exploitations agricoles familiales. Même s'il n'aboutit pas à de réelles concentrations foncières, il existe des inégalités ; les familles moins dotées travaillent sur les exploitations les mieux dotées. L'ensemble contraint la capacité d'investissement et limite les marges de manœuvre pour intensifier.

Les processus sont par ailleurs fragiles et sensibles aux chocs extérieurs. Dans l'échantillon enquêté, plusieurs exploitations ont subi un ou plusieurs chocs qui ont souvent contribué à détériorer le niveau de vie des familles. Les chocs les plus fréquents concernent les aléas climatiques, les problèmes d'insécurité (vols) et les dégâts provoqués par les ravageurs. Quelques exploitations ont vu la totalité de leur cheptel décimée par une maladie ; d'autres ont vu leur cheptel, patiemment constitué au fil des ans, volé en une nuit.

Pour la dimension technique, l'accès au foncier, la diminution des surfaces cultivables et l'accès aux intrants agricoles — quels qu'ils soient — restent des contraintes majeures. Les difficultés d'accès aux semences de variétés améliorées et aux intrants agricoles s'expliquent par le manque de circuits de distribution d'intrants, les coûts élevés du transport et la faiblesse du secteur privé. En outre, aujourd'hui les rapports de prix entre intrants et produits agricoles ne sont pas favorables à l'utilisation des intrants, et cela d'autant plus que les prix des produits agricoles fluctuent fortement.

La structuration des prix est défavorable aux producteurs, avec une offre très atomisée, des infrastructures inexistantes et des filières dominées par des commerçants (collecteurs et grossistes) qui imposent leurs prix. Le manque d'organisation et de performance des marchés, avec notamment une faiblesse chronique des organisations de producteurs, et la fluctuation

des prix constituent de réels facteurs de blocage à l'amélioration des revenus des agriculteurs. Le bas niveau de la productivité agricole est aussi lié à une capacité très limitée des agriculteurs à réaliser des investissements productifs agricoles. Seulement 10 % des ménages ruraux contractent des crédits auprès des institutions de financement, et cela à des taux d'intérêt très élevés (souvent de l'ordre de 3 % par mois). Dans l'échantillon, les exploitations en situation favorable sont celles qui ont pu investir dans les facteurs de production (et notamment la terre) dans une période récente. Ces investissements ont été réalisés grâce à des revenus agricoles ou extra-agricoles, ou en faisant des opérations risquées, comme la vente du cheptel et notamment de bœufs de labour, pour saisir une opportunité foncière.

Perspectives de valorisation des pratiques agro-écologiques

Une des contraintes principales des exploitations agricoles familiales de la région réside dans des capacités productives très faibles (terre, animaux, matériel et équipement, aménagement foncier). Les politiques devraient inciter ces exploitations à mettre en valeur les réserves foncières existantes. Cela suppose de penser les politiques agricoles au sein de politiques globales d'aménagement du territoire : routes, sécurité, infrastructures sociales, et aides à l'installation dans les zones pionnières. Des investissements sur le moyen terme dans les zones déjà cultivées sont aussi nécessaires : des aménagements fonciers en terrasses ou rizières, des sources de financement pour permettre l'amendement des terres, la diffusion de variétés adaptées aux rotations et associations et à la double culture, le développement de l'agroforesterie et de techniques relevant de l'agriculture de conservation, l'acquisition de matériels en traction animale et motorisés, l'achat d'animaux de races améliorées mais suffisamment rustiques, etc. Des leviers existent dans la combinaison de politiques globales d'aménagement du territoire et d'aides à l'investissement des exploitations agricoles familiales, y compris en travail, à condition qu'elles soient très largement subventionnées pour les plus vulnérables (HLPE, 2013).

Conjointement, des innovations doivent être pensées pour des systèmes diversifiés et fortement agro-écologiques. La diffusion d'innovations très ciblées pour un système de culture ou un atelier d'élevage, avec

l'application de techniques d'intensification conventionnelle, poussent à la spécialisation et fragilisent l'exploitation agricole. Ces innovations ciblées ne peuvent avoir que des impacts limités sur la productivité globale de l'exploitation agricole familiale, et en particulier sur le revenu par actif familial. Il convient d'évaluer la pertinence des innovations à l'aune de l'augmentation de ce revenu par actif et de sa stabilité dans le temps. Comme nous avons vu que ce revenu résulte de systèmes d'activités complexes, seules des approches systémiques peuvent fournir des clés de compréhension et d'amélioration des processus en cours dans les exploitations agricoles et dans le territoire auquel elles appartiennent. Toute nouvelle production, nouvelle variété, nouvel équipement, nouvelle technique, peut s'avérer efficace pour augmenter la productivité agricole, mais pour être durable, il faut que cette amélioration soit perçue dans l'ensemble du système d'activité. Étant donné la faible capacité d'investissement des producteurs, les innovations proposées s'appuient principalement sur la valorisation des ressources naturelles à disposition et sur l'intensification des processus naturels au sein des processus de production. Mais la dynamique d'intensification agro-écologique doit davantage s'inscrire dans les interrelations entre les différentes parties des systèmes mis en œuvre.

De même, il importe de sécuriser les débouchés et l'insertion des exploitations dans des filières mieux organisées et mieux articulées, mais étant donné le faible niveau de chacune des productions, la performance doit être pensée aussi à travers les résultats d'un ensemble de filières et d'activités. Jusqu'ici, à Madagascar et dans de nombreuses autres situations, l'intensification agricole a été portée par une spécialisation des producteurs et des filières, avec une concentration verticale progressive de la part d'entreprises qui cherchent à contrôler des parts croissantes des marchés du système alimentaire mondialisé. L'intensification agro-écologique est par nature diversifiée et la commercialisation des produits ne peut se faire qu'à travers une gamme de filières et des opérateurs, également diversifiés, ce qui représente certainement un frein aux économies d'échelle et à la maîtrise technico-économique des processus. Dans ces conditions, l'intensification agro-écologique ne se prête pas, *a priori* et en particulier dans le contexte malgache, à une spécialisation et à une intégration verticale des filières. Elle demande une organisation plus « souple » de l'aval du système agroalimentaire — agrofourniture, crédit bancaire, services à la production — pour répondre à la fois aux exigences du marché et à la diversité des productions. Il ne faudrait toutefois pas

faire l'amalgame entre spécialisation et professionnalisation : l'intensification agro-écologique demande au contraire plus de professionnalisation de la part des producteurs et des autres acteurs, notamment à l'aval de la production.

À ce titre, une plus grande coordination entre les niveaux décentralisés et l'État central, favorisant une vision territoriale et holistique des transformations, serait souhaitable et permettrait de démultiplier les acquis d'une intensification agro-écologique à l'échelle des systèmes d'activités des exploitations agricoles. Des perspectives sont aussi offertes par un renforcement des organisations paysannes pour lutter contre les asymétries tout au long des filières, pérenniser les actions de développement et les inscrire dans une perspective systémique. La recherche et le développement devraient s'engager dans une meilleure connaissance des systèmes alimentaires dans leur ensemble et de la place effective des producteurs et de leurs organisations dans ces systèmes.

Les politiques changent régulièrement, mais font souvent la promotion de modèles importés, au mieux hybrides, avec au final très peu d'aides à l'investissement dans les exploitations agricoles familiales, une tendance à des visions sectorielles et spécialisées, et qui manquent d'engagement sur le long terme. Les filières souffrent du manque d'infrastructures, de coordination, et d'appui à la création de valeur ajoutée. Les stratégies des agriculteurs reposent déjà, de fait, sur la recherche de diversité et d'autonomie de leurs exploitations sur la base de processus relevant en grande partie de l'agro-écologie. Il apparaît que face aux contraintes structurelles et au niveau de risque, toute artificialisation importante des systèmes agricoles serait, pour les agricultures familiales du Vakinankaratra, tout à la fois irréaliste et peu souhaitable ; au contraire de la promotion d'une intensification agro-écologie créatrice d'emplois, déjà en germe dans les systèmes paysans de cette région.

Conclusion

Dans le renouvellement et le dépassement des débats sur les conceptions de l'agro-écologie et sur la nature des transitions à favoriser, l'exemple des Hautes Terres malgaches apporte un éclairage sur l'importance du point de départ des agricultures pour penser les évolutions. La trajectoire des agricultures traditionnelles, majoritaires à Madagascar, mais aussi en

Afrique subsaharienne, est celle de l'intensification agro-écologique. C'est aussi, finalement, la poursuite de cette intensification agro-écologique, différente de l'agro-écologie des pratiques ou de l'agro-écologie intégrale qui sont pensées en réaction à l'intensification conventionnelle, qui apparaît la plus adaptée aux ressources et à la vulnérabilité de ces exploitations.

Pour que cette intensification agro-écologique se concrétise, il est nécessaire de prendre en compte les contextes démographiques et économiques, les dotations en facteurs de production, la disponibilité et l'accessibilité aux ressources naturelles. Il faut partir des pratiques et savoir-faire existants, qui peuvent être pour la plupart des cas en Afrique subsaharienne considérés comme agro-écologiques. Mais ces savoirs et pratiques se combinent en des systèmes d'activités à la fois complexes et plus « sophistiqués » que les « paquets d'innovations technologiques » proposés par la recherche agronomique. Il faut aussi évaluer et comprendre les marges de manœuvre effectives des systèmes concernés, pour éviter de promouvoir des réponses techniquement souhaitables et cohérentes dans une perspective sectorielle ou de spécialisation agricole, mais simplement inapplicables ou inaccessibles. Par ailleurs, au vu de la diversité des situations, une approche s'adaptant aux diversités territoriales est nécessaire. Une « intensification par la diversification » impose mais en même temps valorise la mobilisation des différents acteurs et le renforcement des capacités d'innovation pour gérer une plus grande complexité. Elle déplace la réflexion agro-écologique de la parcelle ou de l'exploitation vers les systèmes alimentaires et les territoires dans lesquels évoluent les agriculteurs.

Pour accompagner ces dynamiques, il convient donc de renouveler les politiques agricoles et alimentaires à l'échelle des territoires en identifiant puis en valorisant les ressources spécifiques de ces derniers. Au regard de l'intensification agro-écologique, il s'agit de définir des stratégies agricoles et alimentaires qui s'appuient sur ces ressources territoriales. Cela concerne bien sûr les stratégies de marché, avec notamment l'identification et la valorisation de marques de qualité, mais le raisonnement peut être étendu aussi à la gestion des systèmes alimentaires adaptée aux réalités locales : répartition de la valeur, meilleure articulation de l'industrie agroalimentaire avec l'organisation locale des marchés, redistribution permettant l'investissement en biens publics, mise en cohérence avec les opportunités et pratiques de diversification agricole et

extra-agricole, etc.

L'exemple des Hautes Terres malgaches montre enfin que les solutions techniques seules ne seront pas des leviers suffisants pour améliorer significativement et durablement les conditions de vie et la qualité des systèmes agro-alimentaires. Les blocages sont tels que l'on peut difficilement imaginer d'évolution positive sans une action publique massive et coordonnée, à l'échelle des exploitations mais aussi des filières et des territoires[43]. Il importe de produire des connaissances pour évaluer les différentes options — agro-écologie des pratiques, agro-écologie intégrale ou intensification agro-écologique. Il importe surtout selon nous de définir les stratégies susceptibles de lever les contraintes, et d'estimer les moyens à mettre en œuvre pour concrétiser les opportunités offertes par l'intensification agro-écologique, option que nous jugeons aujourd'hui la plus crédible dans le Vakinankaratra, mais aussi pour la majorité des agricultures familiales de l'Afrique subsaharienne.

Plus largement, et quelle que soit l'option choisie, il est aussi nécessaire de mieux documenter les performances économiques et sociales de ces différentes formes d'agro-écologie au niveau des systèmes d'activités des exploitations agricoles familiales comme des systèmes alimentaires. Il semble que c'est en effet dans un changement radical des rapports de force prévalant à la construction des prix, y compris en permettant de rémunérer les services aujourd'hui non marchands de l'agriculture et de ses filières (dits services écosystémiques), que les systèmes agricoles et les systèmes alimentaires pourront, dans ces conditions défavorables, entamer une intensification agro-écologique dans les situations aujourd'hui bloquées en Afrique subsaharienne.

Remerciements

Les auteurs remercient les relecteurs sollicités dans le cadre du processus d'édition de la collection, ainsi que Bruno Losch, dont les commentaires ont été forts utiles.

Références

Afsa, 2016. *Agroecology: The Bold Future of Farming in Africa*, Afsa &

Toam, Dar es Salaam, Tanzanie, 88 p.

Agra, 2016. Africa agriculture status report 2016, Progress towards agricultural transformation in Africa, Alliance for a Green revolution in Africa, <https://agra.org/aasr2016/public/assr.pdf> (consulté le 20/08/2018).

Altieri M.A., Funes-Monzote F.R., Petersen P., 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 1-13.

Altieri M., Nicholls C., Montalba R., 2017. Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability*, 9 (3), 349, <https://doi.org/10.3390/su9030349>.

Baret P., Stassart P., Vanloqueren G., Van Damme J., 2013. Dépasser les verrouillages de régimes socio-techniques des systèmes alimentaires pour construire une transition agro-écologique. In : *Actes du Premier Congrès interdisciplinaire du développement durable : Quelle transition pour nos sociétés ? Thème 2, Alimentation, agriculture, élevage* (J.-P. Van Ypersele, M. Hudon, eds), ULB/UCL, 5-14, <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/136905/1/Baret%20Stassart%202013%20in.pdf> (consulté le 20/08/2018).

Bélières J.-F., Burnod P., Rasolofo P., Sourisseau J.-M., 2016. L'illusion de l'abondance : Enjeux fonciers agricoles dans le Vakinankaratra à Madagascar. In : *Une nouvelle ruralité émergente. Regards croisés sur les transformations rurales africaines* (D. Pesche, B. Losch, J. Imbernon, eds), Nepad et Cirad, 56-57.

Bonny S., 2011. L'agriculture écologiquement intensive : Nature et défis. *Cahiers agricultures*, 20 (6), 451-62, <https://doi.org/10.1684/agr.2011.0526>.

Bosc P.M., Dabat M.-H., Maître D'hôtel E., 2010. Quelles politiques de développement durable au Mali et à Madagascar ? *Économie rurale*, 320, 24-38.

Bosc P.M., Thirion M.C., Bélières J.F., Bonnal P., Losch B., Marzin J., Sourisseau J.M., eds, 2014. *Les agricultures familiales du monde : Définitions, contributions et politiques publiques*, AFD-Cirad, coll. À

savoir, Paris, 196 p., <https://www.afd.fr/fr/les-agricultures-familiales-du-monde> (consulté le 20/08/2018).

Brookfield H.C., 2001. Intensification, and alternative approaches to agricultural change. *Asia Pacific Viewpoint*, 42, 181-192, <https://doi.org/10.1111/1467-8373.00143>.

Burnod P., Papazian H., Adamczewski A., Bosc P.-M., Tonneau J.-P., Jamin J.-Y., 2011. Régulations des investissements agricoles à grande échelle. Études de Madagascar et du Mali. *Afrique contemporaine*, 2011/1 (237), 111-129, <https://doi.org/10.3917/afco.237.0111>.

Duru M., Fares M., Therond O., 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain) la transition agro-écologique de l'agriculture dans les territoires. *Cahiers agricultures*, 23 (2), 84-95, <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0691>.

FAO, 2015. Final report for the International Symposium on Agroecology for Food Security and Nutrition, 18-19 septembre 2014, Rome, Italie, <http://www.fao.org/3/a-i4327e.pdf> (consulté le 20/08/2018).

FAO, 2016. Report of the regional meeting on agroecology in Sub-Saharan Africa, 5-6 novembre 2015, Dakar, Sénégal, <http://www.fao.org/3/a-i6364e.pdf> (consulté le 20/08/2018).

Fouilleux E., Bricas N., Alpha A., 2017. 'Feeding 9 billion people': Global food security debates and the productionist trap. *Journal of European Public Policy*, <https://doi.org/10.1080/13501763.2017.1334084>.

Giraldo O., 2018. Ecología política de la agricultura. Agroecología y posdesarrollo, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristobal de Las Casas, Chiapas, Mexico.

Giraldo O., Rosset P., 2018. Agroecology as a territory in dispute: Between institutionality and social movements. *The Journal of Peasant Studies*, 45 (3), 545-564, <https://doi.org/10.1080/03066150.2017.1353496>.

Gliessmann S.R., 2015. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*, CRC Press, Boca Raton, États-Unis, 388 p.

Griffon M., 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Édition Quæ, Versailles, 224 p.

Griffon M., 2017. Éléments théoriques en agro-écologie : L'intensivité écologique. *OCL*, 24 (3), D302.

Guengant J.P., 2011. Comment bénéficier du dividende démographique ? La démographie au centre des trajectoires de développement, document de recherche, coll. À savoir, n° 9, AFD, IRD, 86 p.

HLPE, 2013. Paysans et entrepreneurs : Investir dans l'agriculture des petits exploitants pour la sécurité alimentaire, rapport du groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition, Comité de la sécurité alimentaire mondiale, Rome, 125 p., http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Report-6_FR.pdf (consulté le 20/08/2018).

IAASTD, 2009. *Agriculture at a Crossroads, Global Report*. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, Island Press, Washington, DC.

Instat, 2011. Enquête périodique auprès des ménages 2010, EPM-2010, rapport principal, Instat, Antananarivo, Madagascar, 374 p., http://www.instat.mg/pdf/epm_10.pdf (consulté le 20/08/2018).

IPES-Food, 2016. From uniformity to diversity: A paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. International Panel of Experts on Sustainable Food systems, http://www.ipes-food.org/images/Reports/UniformityToDiversity_FullReport.pdf (consulté le 20/08/2018)

Knox A., Meinzen-Dick R., 1999. Property rights, collective action and technologies for natural resource management, CGIAR SP-CAPRI, policy brief n° 1, Washington, DC.

Le Bras H., 2003. Malthus ou Boserup : Validité et continuité historique des modèles démo-économiques. *Mathématiques et sciences humaines*, 164, hiver 2003, mis en ligne le 18/02/2006, [doi:10.4000/msh.2890](https://doi.org/10.4000/msh.2890) (consulté le 01/10/2016).

Losch B., 2016a. Appuyer les dynamiques territoriales pour répondre au

défi de l'emploi des jeunes ruraux. *Afrique contemporaine*, 2016/3 (259), 118-121, <https://doi.org/10.3917/afco.259.0118> ☞.

Losch B., 2016b. Structural transformation to boost youth labour demand in sub-Saharan Africa: The role of agriculture, rural areas and territorial development, Employment working paper n° 204, International Labour Office, Employment Policy Department, Employment and Labour Market Policies Branch, ILO, Genève, Suisse.

Losch B., Fréguin-Gresh S., White E., 2012. *Structural Transformation and Rural Change Revisited: Challenges for late developing countries in a globalizing world*, Africa Development Forum, World Bank, Washington, DC, États-Unis, 306 p.

MAEP, 2007. Recensement de l'agriculture, campagne agricole 2004-2005, tome III, Parcelles-superficiés, ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Antananarivo, Madagascar, octobre 2007, 346 p., <http://www.agriculture.gov.mg/pdf/Tome3%20Parcelles-Superficiés.pdf> ☞ (consulté le 20/08/2018).

Naylor R.L., 1996. Energy and resource constraints on intensive agricultural production. *Annual Review of Energy and the Environment*, 21 (1), 99-123.

Penot E., Domas R., Fabre J., Poletti S., Macdowall C., Dugué P., Le Gal P.-Y., 2015. Le technicien propose, le paysan dispose : Le cas de l'adoption des systèmes de culture sous couverture végétale au lac Alaotra, Madagascar. *Cahiers agricultures*, 24 (2), 84-92, <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0745> ☞.

Perret S., Stevens J., 2007. Socio-economic reasons for the low adoption of water conservation technologies by smallholder farmers in southern Africa: A review of the literature. *Development Southern Africa*, 23 (4), 461-476, <https://doi.org/10.1080/03768350600927193> ☞.

Pesche D., Losch B., Imbernon J., eds, 2016, *Une nouvelle ruralité émergente. Regards croisés sur les transformations rurales africaines. Atlas pour le Programme rural futures du Nepad*, 2^e édition revue et augmentée, Cirad, Nepad, Montpellier, <https://www.cirad.fr/MM/atlas-nepad/Atlas-Nepad-FR.pdf> ☞ (consulté le 20/08/2018).

Pimentel D., Hepperly P., Hanson J., Doups D., Seidel R., 2005. Environmental, energetic and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience*, 55 (7), 573-582.

Pretty J., Toulmin C., Williams S., 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9 (1), 5-24, <http://dx.doi.org/10.3763/ijas.2010.0583> ☐.

Raharison T.S., 2014. Politiques publiques de développement à Madagascar et durabilité de l'agriculture et des exploitations agricoles, étude de cas dans le Moyen-Ouest, master Recherche 2, Agriculture, alimentation et développement durable, SupAgro, Montpellier, 130 p.

Raharison T., Bélières J.-F., Salgado P., Autfray P., Razafimahatratra H.M., Rakotofiringa H.Z., 2017. Agro-biodiversité dans les exploitations agricoles familiales du moyen-ouest de Vakinankaratra : Des paysans en avance sur la recherche et le développement agricole durable ? Fianarantsoa, 29-30 novembre 2017, 14.

Rakotoarisoa J., Bélières J.-F., Salgado P., eds, 2016. Intensification agricole à Madagascar : Politiques publiques et trajectoires d'exploitations agricoles du Vakinankaratra, rapport de synthèse, Cirad, Fofifa, Antananarivo, Madagascar, 135 p., <http://agritrop.cirad.fr/582242> ☐ (consulté le 20/08/2018).

Razafimahatratra H.M., Raharison T., Bélières J.-F., Autfray P., Salgado P., Rakotofiringa H.Z., 2017. Systèmes de production, pratiques, performances et moyens d'existence des exploitations agricoles du moyen-ouest du Vakinankaratra, SPAD Cirad/Fofifa/GSDM, Antsirabe (Madagascar), 103 p., <http://agritrop.cirad.fr/586881> ☐ (consulté le 20/08/2018).

Razafindrakoto M., Roubaud F., Wachsberger J.M., 2017. *L'Énigme et le paradoxe : Économie politique de Madagascar*, IRD Éditions, 280 p.

Reboud X., Hainzelin É., 2017. L'agro-écologie, une discipline aux confins de la science et du politique. *Natures Sciences et Sociétés*, 25, 64-71, <https://doi.org/10.1051/nss/2017036> ☐.

Scopel E., Triomphe B., Affholder F. Macena Da Silva F.A., Corbeels M., Valadares J.H., Lahmar X.R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E.,

Carvalho Mendes I., De Tourdonnet S., 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts: A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 113, <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0106-9> ☐.

Serpantié G., 2013. Genèse malgache d'un modèle agro-écologique : Le système de riziculture intensive (SRI). *Cahiers agricultures*, 22 (5), 393-400, <https://doi.org/10.1684/agr.2013.0659> ☐.

Sourisseau J.-M., Bélières J.-F., Bourgeois R., Soumaré M., Rasolofo P., Guengant J.-P., Bougnoux N., 2016. *Penser ensemble l'avenir d'un territoire : Diagnostic et prospective territoriale au Mali et à Madagascar*, AFD, France, 176 p., <https://www.afd.fr/fr/penser-ensemble-avenir-territoire> ☐ (consulté le 20/08/2018).

Thérond O., Duru M., Roger-Estrade J., Richard G., 2017. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (21), <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7> ☐.

Tittonell P., Scopel E., Andrieu N., Posthumus H., Mapfumo P., Corbeels M., Van Halsema G.E., Lahmar R., Lugandu S., Rakotoarisoa J., Mtambanengwe F., Pound B., Chikowo R., Naudin K., Triumph B., Mkomwa S., 2012. Agroecology based aggradation-conservation agriculture (Abaco): Targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. *Field Crop Res.*, 132, 168-174.

United Nations, 2017. World Population Prospects: The 2017 revision, key findings and advance, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, working paper, n° ESA/P/WP/248, 53 p.

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515, <https://doi.org/10.1051/agro/2009004> ☐.

Whiteside M., 1998. *Living Farms: Encouraging sustainable smallholders in Southern Africa*, Earthscan publ., Londres, Royaume-Uni, 217 p.

Des processus de régulation naturelle à l'innovation technique, quelles solutions agro-écologiques pour les agricultures du Sud ?

Éric Malézieux, Bruno Rapidel, François-Régis Goebel, Philippe Tixier

Changement climatique, perte de biodiversité, raréfaction des terres cultivables, diminution des ressources : l'agriculture est confrontée à de nouveaux enjeux à l'échelle mondiale. Dans les pays du Nord, l'augmentation importante de la productivité au cours des 50 dernières années s'est le plus souvent traduite par un recours massif aux énergies fossiles et aux intrants chimiques, entraînant un fort impact négatif sur l'environnement. De plus, l'utilisation importante et continue des pesticides entraîne, outre la dégradation de la qualité des eaux, un impact de plus en plus avéré sur la santé des travailleurs agricoles et des consommateurs.

L'agro-écologie a émergé dans ce contexte, même si son développement reste confronté à de vifs débats sociétaux. Elle est à la fois une discipline scientifique, un mouvement social et un ensemble de pratiques agronomiques (Wezel *et al.*, 2009). Quelle que soit l'acception choisie (la dimension politique reste un point de controverse), la plupart des auteurs s'en réclamant s'accordent sur un certain nombre de principes biologiques qui doivent piloter le fonctionnement des agrosystèmes. L'agro-écologie repose ainsi sur un principe central : l'utilisation des processus naturels, souvent associés à la biodiversité, pour assurer les services écosystémiques, dont la production agricole. Cette importance donnée aux processus naturels conduit à de profondes modifications des systèmes techniques actuels. Ces modifications requièrent aussi un changement radical des objectifs et des modalités de la recherche agronomique dont l'un d'eux consiste, outre la mise au point d'innovations, à accompagner les acteurs dans leurs mutations technologiques.

Ce chapitre a pour objectif d'identifier les connaissances scientifiques sur lesquelles reposent le fonctionnement biophysique des systèmes de culture agro-écologiques innovants qui font ou ont fait l'objet d'appropriations à plus ou moins grande échelle par les agriculteurs, ou qui sont à la base d'innovations initiées par les agriculteurs. Si le mouvement agro-écologique concerne autant les agricultures du Nord que celles du Sud, notre réflexion porte ici plus particulièrement sur les petits agriculteurs du Sud. En effet, la situation de la petite agriculture familiale au Sud reste singulière : elle n'a souvent pas connu la révolution technologique et sa durabilité repose dans de nombreux cas sur les régulations biologiques au sein des agrosystèmes. Ces agricultures peuvent ainsi constituer dans certains cas des exemples que nous tâcherons d'identifier. Préservant la biodiversité et mobilisant les régulations naturelles, certains savoirs locaux ou traditionnels peuvent en effet être à la base de solutions durables pour la protection des cultures et la résilience face au changement climatique.

Dans la plupart des cas, il n'est souvent pas facile de convaincre les producteurs conventionnels d'adopter des pratiques agro-écologiques. En effet, cette nouvelle façon de produire se traduit fréquemment par des modifications importantes des systèmes de culture qui peuvent constituer une prise de risques pour ces producteurs. Il existe par exemple des réticences pour passer d'un système intensif avec recours important aux pesticides à un système de protection intégrée des cultures ou encore d'un système de protection intégrée à une protection agro-écologique des cultures.

Si la connaissance scientifique doit continuer d'être produite et capitalisée, elle n'est pas la seule source d'innovation en agro-écologie. L'innovation repose sur la capacité des acteurs à mobiliser des connaissances issues de diverses sources et surtout à construire ensemble, sur ces bases, de nouvelles connaissances au travers d'échanges formalisés autour des défis, des contraintes et des opportunités pour les producteurs et les sociétés. La place de la recherche dans l'innovation est importante, mais elle doit être repensée dans le nouveau contexte de l'agro-écologie. Les exemples cités dans ce chapitre s'inscrivent dans cette perspective : fournir des éléments de connaissance les plus génériques possibles pour participer à la co-conception de systèmes agro-écologiques innovants qui représentent une alternative durable à l'agriculture conventionnelle.

Les concepts et les principes pour une agriculture agro-écologique

Écosystèmes naturels, agrosystèmes et agro-écologie

Les écosystèmes naturels présentent souvent des caractéristiques communes : un degré élevé de biodiversité, une couverture permanente du sol, la présence d'espèces ligneuses, de nombreuses interfaces entre espèces, etc. À l'opposé, les agrosystèmes intensifs ont systématiquement éliminé ces caractéristiques : diminution drastique de la biodiversité (jusqu'à une seule espèce végétale dans le champ cultivé), travail du sol profond et fréquent, élimination des espèces ligneuses, réduction des interfaces entre les espèces.

Alors que les agrosystèmes sont le plus souvent composés d'un nombre très limité d'espèces cultivées, les écosystèmes naturels sont caractérisés par une importante diversité biologique, qui procure un nombre conséquent de services écosystémiques. La démarche agro-écologique repose ainsi sur une hypothèse centrale : il est possible de produire durablement en s'appuyant sur les fonctionnalités des écosystèmes et en renforçant les régulations biologiques offertes par la biodiversité. La démarche consiste donc principalement à introduire — ou à réintroduire — et à piloter une biodiversité fonctionnelle, cultivée et associée, dans les agrosystèmes intensifs (faisant auparavant un fort usage des intrants chimiques), de manière à tirer profit (en termes de services écosystémiques) de cette introduction ou réintroduction. Cette démarche peut être mise en œuvre à plusieurs échelles, de la parcelle au paysage. La pratique prouve que l'introduction de la biodiversité a bien d'importantes répercussions sur le fonctionnement de l'agrosystème (Malézieux, 2012). Selon les espèces et modalités d'implantation choisies, elle permet précisément :

- d'utiliser la complémentarité des traits fonctionnels entre les différentes espèces pour une meilleure utilisation des ressources et donc d'augmenter la productivité totale de l'écosystème cultivé ;
- d'assurer la pérennité de la présence d'une couverture du sol, voire d'une couverture arborée ;
- d'augmenter l'hétérogénéité, et donc les interfaces dans le système ;
- de mobiliser les régulations naturelles des bioagresseurs au sein des

réseaux trophiques ;
 – d'utiliser les propriétés des plantes pour le contrôle des bioagresseurs (substances naturelles attractives vs répulsives).

L'incorporation d'une plus grande diversité végétale dans l'espace et dans le temps entraîne également l'augmentation de la teneur en matière organique et l'amélioration du fonctionnement biologique des sols. Ainsi, le mélange d'espèces végétales est au centre de la conception de systèmes de culture agro-écologiques (Malézieux *et al.*, 2009). La gestion de la biodiversité n'est cependant pas une solution simple à mettre en œuvre. En effet, seuls des assemblages d'espèces appropriés, accompagnés d'une gestion favorisant l'ensemble des mécanismes de régulation, permettent de procurer ces propriétés et d'augmenter la production, débouchant *in fine* sur une durabilité accrue des agrosystèmes. Nous avons tenté de synthétiser dans la figure 11.1 l'ensemble des relations entre les objectifs, les processus et les innovations dans les systèmes agro-écologiques.

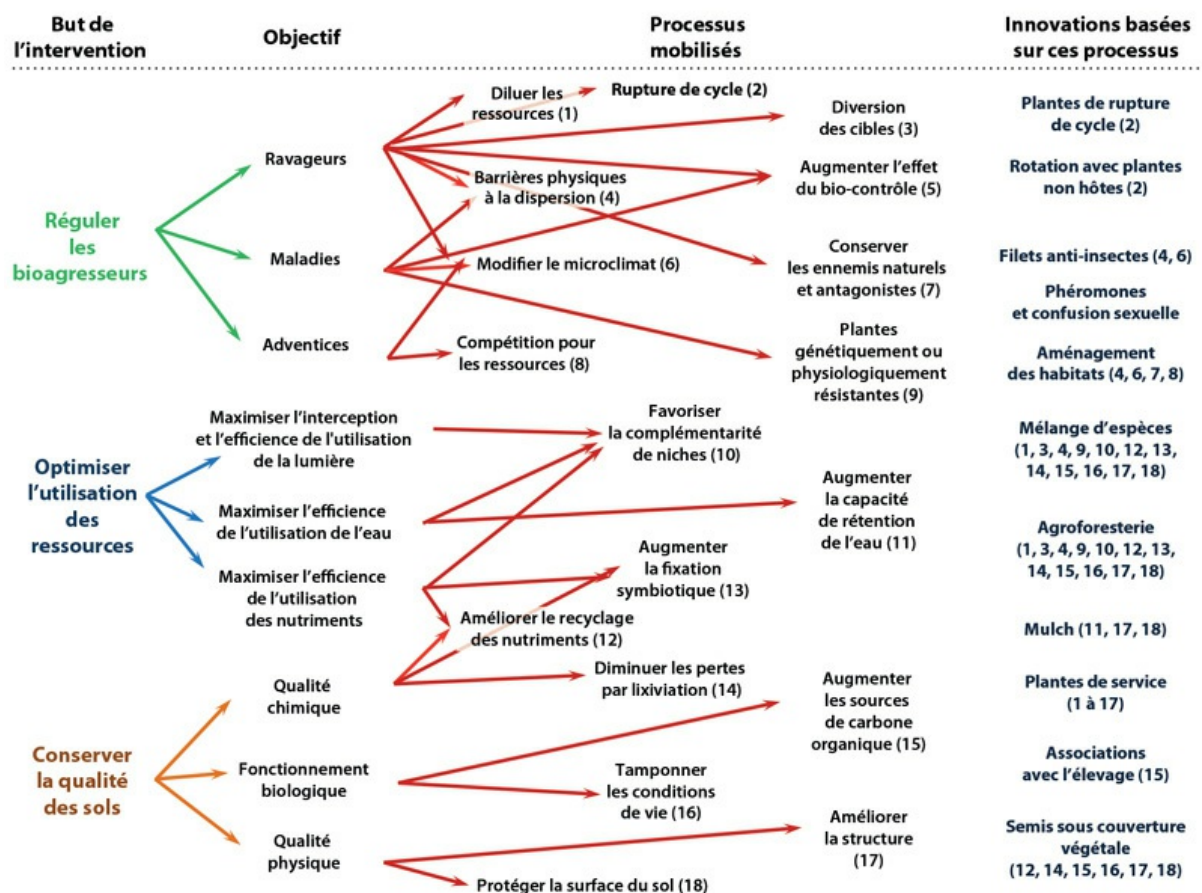


Figure 11.1. Concepts et processus mobilisés en agro-écologie dans le but de réduire l'utilisation d'intrants chimiques (d'après Ratnadass *et al.*, 2012 ; Husson *et al.*, 2015).

La mobilisation des concepts de l'écologie

Comme son étymologie le rappelle, l'agro-écologie mobilise des concepts issus de deux disciplines : l'agronomie et l'écologie. Les concepts de niche écologique, de dispersion des espèces, d'interaction biologique, de dynamique des communautés, d'interactions multi-trophiques, de redondance et de complémentarité fonctionnelle sont par exemple essentiels pour la création de systèmes agro-écologiques. Ces concepts issus de l'écologie permettent de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes naturels : leur application dans le domaine de l'agriculture constitue l'un des enjeux scientifiques de l'agro-écologie. Des exemples illustrent comment ces notions peuvent être mobilisées pour concevoir des agrosystèmes plus durables. La complémentarité fonctionnelle est par exemple un élément essentiel d'une association d'espèces : l'association de deux espèces repose sur le principe que des individus d'une espèce seront moins en compétition avec des individus d'une autre espèce qu'avec des individus de leur propre espèce. En écologie, la capacité des plantes à remplir les fonctions nécessaires à la survie de l'écosystème est représentée par des traits fonctionnels. Cette approche a également été utilisée récemment en agronomie pour étudier certaines associations de cultures (Damour *et al.*, 2018). La complémentarité fonctionnelle au niveau aérien permet d'orienter voire d'optimiser l'utilisation et la restitution des ressources (voir encadré 11.1). La complémentarité fonctionnelle a également été mobilisée en ce qui concerne les systèmes racinaires, de manière à favoriser des explorations de niches différentes par des espèces ayant des stratégies opposées d'acquisition, de conservation et d'utilisation des ressources (Weemstra *et al.*, 2016).

Encadré 11.1. L'association des caféiers et de l'érythrine

B. Rapidel

L'association communément pratiquée entre caféier et érythrine (*Erythrina* spp.) représente un bon exemple de la complémentarité fonctionnelle entre espèces : l'érythrine a une stratégie de croissance rapide, de faibles réserves et induit une décomposition de litière très rapide, tandis que le caféier a un tout autre comportement (du *Leaf Economic Spectrum* ou « spectre économique foliaire ») (Wright *et al.*, 2004), avec un bois dense et résistant à la décomposition, et une faible surface foliaire spécifique (SLA) (photo 11.1). En outre, la production de café dépend fortement de la disponibilité de l'azote, et l'érythrine est une légumineuse fixatrice d'azote. Le caféier,

arbuste de sous-bois, est adapté à des ambiances de pénombre. Les racines des deux espèces montrent également des traits différents (croissance lente et forte densité d'exploration pour le caféier, croissance rapide pour l'érythrine et exploration d'une grande surface), mais elles explorent des niches relativement similaires. Ainsi, ces espèces peuvent rentrer en compétition pour l'eau, mais l'érythrine étant beaucoup moins résistante à la sécheresse que le caféier, elle ne peut pas survivre dans des environnements où la disponibilité d'eau pourrait devenir limitante pour le caféier.



Photo 11.1. L'association caféier-érythrine. © Bruno Rapidel / Cirad.

La diversité végétale et la régulation des bioagresseurs

En intégrant de nouvelles espèces végétales dans l'agrosystème, il est possible de réduire l'impact des insectes ravageurs et des maladies à travers plusieurs voies, qui peuvent éventuellement se combiner (fig. 11.1 et numéros associés) :

– en utilisant la dilution des ressources et les phénomènes de diversion chez les insectes, basés sur des effets visuels et olfactifs des plantes (1 et

3) ;

- en perturbant le cycle du bioagresseur dans l'espace *via* des effets non hôtes (2 et 3) ;
- en encourageant des effets allélopathiques dynamiques dans le sol ;
- en stimulant des antagonistes spécifiques aux ravageurs et maladies présents dans le sol ;
- en augmentant la résistance physiologique de la plante par un apport optimisé de nutriments dans le système de culture ;
- en stimulant les effets de contrôle par prédation des ravageurs des plantes, en conservant leurs ennemis naturels (7) ;
- en modifiant l'architecture des plantes pour produire des barrières physiques et un microclimat défavorables à ces bioagresseurs (4 et 6).

La lutte « par conservation » a pour objectif de favoriser la présence d'ennemis naturels (7). Elle implique de prendre en compte les interactions entre les insectes et leurs habitats naturels ou cultivés, afin d'organiser ensuite ces habitats pour augmenter l'efficacité du contrôle biologique. Ces nouvelles pratiques visent souvent à optimiser la conservation des ennemis naturels dans un espace donné incluant la parcelle de culture (encadré 11.2 ; Landis *et al.*, 2000 ; Nicholls et Altieri, 2004). Cela suppose de connaître tous les éléments-clés du paysage entourant la parcelle agricole ou l'exploitation : la végétation naturelle, sa localisation, ses caractéristiques, sa taille et les espèces de plantes qui sont présentes, les jachères, les haies, les bosquets, etc. Cette approche peut très bien être combinée avec la lutte « biologique traditionnelle par augmentation ou acclimatation », qui favorise l'implantation artificielle d'ennemis naturels (comme les parasitoïdes) dans l'agrosystème visé.

Encadré 11.2. Les processus *push-pull* en culture de canne à sucre

F.-R. Goebel

Des recherches ont identifié les plantes de service à utiliser ou à introduire en bordure des champs de canne à sucre pour stimuler la régulation naturelle du foreur des tiges *Eldana saccharina* en Afrique du Sud : des plantes sauvages comme *Cyperus*, *Erianthus*, *Pennisetum* ou *Desmodium*, et des plantes cultivées comme le maïs ou le sorgho, jouent le rôle de plantes attractives aux parasitoïdes ou répulsives aux bioagresseurs (Conlong et Rutherford, 2009 ; Cockburn *et al.*, 2014). L'objectif est d'augmenter la régulation naturelle des bioagresseurs en enrichissant la biodiversité dans des systèmes de culture de canne à sucre souvent intensifs et qui ont détruit ces modes de régulation

(fig. 11.2).

À la Réunion, une plante proche de la canne à sucre, *Erianthus*, a été testée et utilisée comme plante piège en bordure du champ de canne à sucre pour attirer et tuer le lépidoptère foreur *Chilo sacchariphagus*, cette plante étant plus attractive que la canne (Nibouche *et al.*, 2012). Cette action peut-être combinée à des lâchers de parasitoïdes complémentaires, tels que les trichogrammes, pour éliminer les pontes de ce foreur en bordure des champs de canne. Ces plantes de service peuvent donc être utilisées pour mettre au point un système *push-pull* (attraction-répulsion) qui agit comme une composante intéressante de la protection agro-écologique des cultures (Goebel *et al.*, 2018).

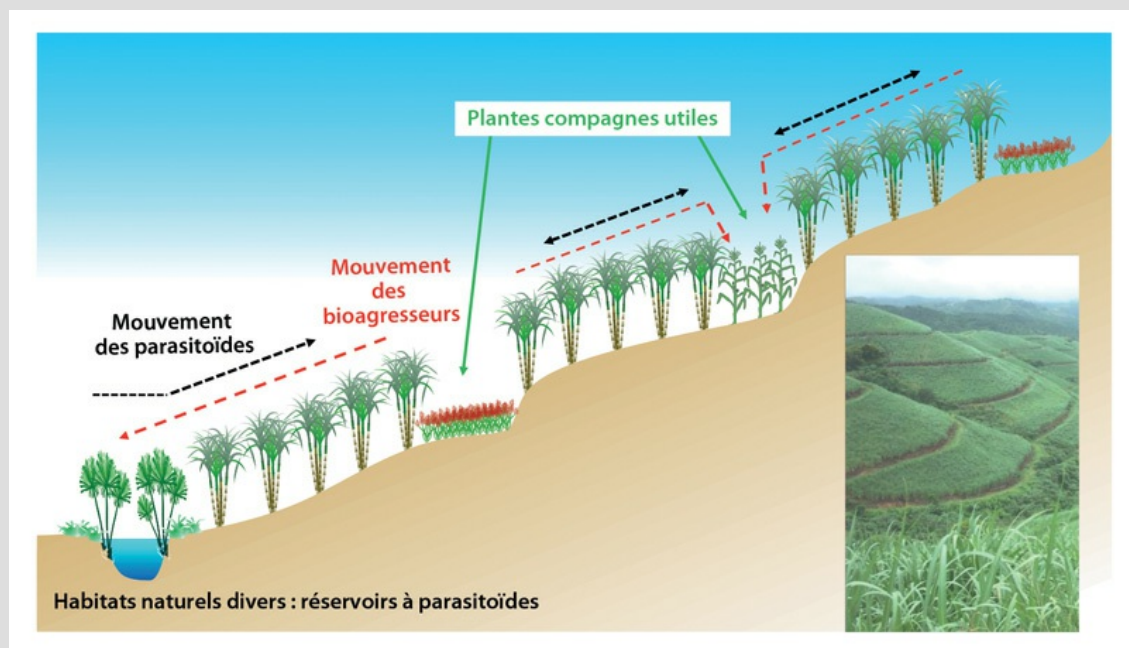


Figure 11.2. Utiliser les éléments du paysage et introduire des plantes de service pour le contrôle biologique des bioagresseurs (cas d'*Eldana saccharina*, ravageur de la canne à sucre en Afrique du Sud ; Conlong et Rutherford, 2010).

La gestion des bioagresseurs est construite sur une connaissance large et approfondie des interactions dans l'agroécosystème entre les insectes et leurs ennemis naturels (parasitoïdes, pathogènes, prédateurs...), les plantes hôtes et la végétation naturelle qui les abrite.

La modification des cycles biogéochimiques

L'introduction de biodiversité dans un agrosystème affecte également les cycles biogéochimiques : les cycles de l'eau et du carbone peuvent être

profondément modifiés (fig. 11.1), en particulier par l'introduction d'espèces ligneuses comme le montre l'exemple de l'agroforesterie en Afrique soudano-sahélienne (encadré 11.3).

Encadré 11.3. L'agroforesterie en Afrique soudano-sahélienne

B. Rapidel

Il existe de nombreux exemples d'agroforesterie en Afrique sahélienne et soudano-sahélienne. Pour expliquer la coexistence entre arbres et cultures, il est toutefois souvent difficile de distinguer les raisons biologiques des raisons socio-économiques. Deux exemples ont cependant des fondements biologiques largement explorés : le premier est l'association entre les cultures et l'arbre *Faidherbia albida*, une légumineuse. Cet arbre a la particularité de perdre ses feuilles en saison des pluies, contribuant ainsi à maintenir un niveau élevé de matière organique dans le sol (cas de tous les arbres dans les cultures) tout en n'entrant pas en compétition pour la lumière et l'eau avec les cultures de saison des pluies. Son système racinaire à croissance rapide permet à cette espèce d'atteindre la nappe phréatique dès les premières années de croissance, et de maintenir ainsi ses feuilles en saison sèche (Roupsard *et al.*, 1999). Coupées en fonction de la demande, ces feuilles fournissent un complément d'alimentation du bétail. Cette espèce a été largement utilisée dans des programmes de reforestation au Niger (Garrity *et al.*, 2010). Un autre exemple est celui des arbustes des zones sèches *Guiera senegalensis* (Combrétacées) et *Piliostigma reticulatum* (Fabacées), maintenus en zone sahélienne dans les champs de sorgho et de mil. Ces arbustes ont des racines profondes et maintiennent leur feuillage en saison sèche en réussissant à capter des ressources en eau inaccessibles aux céréales annuelles auxquelles ils sont associés (Louppe, 1991). Des recherches ont mis en évidence un approvisionnement en eau des horizons superficiels depuis les horizons profonds plus humides au travers de leur système racinaire (Kizito *et al.*, 2012). Ils supportent une taille annuelle presque totale. Ils sont fréquemment cités comme espèces de restauration des sols dégradés, car ils permettent une accumulation de matière organique (Diack *et al.*, 2000).

Des principes écologiques à l'innovation

À l'échelle de la parcelle et du système de culture, les principes de l'agro-écologie doivent se traduire en réalisations concrètes, mises en œuvre par des acteurs : quelles espèces combiner ? Quels modes de conduite mettre en œuvre ? L'agronome doit faire face à de nouvelles questions : comment

concevoir ces nouveaux systèmes plus complexes ? Comment les évaluer ? Sur quels critères ?

On passe ainsi des principes de l'agro-écologie à des innovations basées sur des modalités d'action. Le principe d'introduction de biodiversité dans un agrosystème peut comprendre différentes modalités d'action stimulant les processus agro-écologiques identifiés (voir fig. 11.1). Celles-ci passent essentiellement par le mélange d'organismes (Malézieux *et al.*, 2009) : on peut mélanger des variétés, des espèces végétales productives, introduire des plantes de service, mélanger des espèces non ligneuses et ligneuses, des espèces végétales et animales (voir fig. 11.2). Chacune de ces pratiques met en œuvre plusieurs processus. Si les combinaisons théoriques sont très nombreuses, la recherche de systèmes efficaces est plus difficile, et celles qui correspondent aux conditions d'acceptabilité des producteurs sont en nombre encore beaucoup plus limité. Au-delà de la dimension spatiale, la dimension temporelle est essentielle : les rotations, associant ou pas des espèces de couverture, constituent une modalité d'action essentielle de l'agro-écologie. Le pas de temps peut être très variable : à la temporalité courte de l'association d'espèces légumières dont le cycle n'est que de quelques mois, on associe la temporalité longue des espèces ligneuses sur plusieurs dizaines d'années. Ces deux temporalités peuvent parfaitement s'interpénétrer : l'agriculteur doit gérer les deux pas de temps, parfois sur la même parcelle. On peut ainsi établir une typologie des systèmes de culture basée sur une complexification croissante des systèmes et l'introduction d'espèces ligneuses.

Dans ce qui suit, nous illustrerons ces différentes modalités d'introduction de la biodiversité à travers quatre cas d'étude successifs : les plantes de service en monocultures, les systèmes sous couverture végétale, l'association de deux espèces ligneuses et les systèmes complexes en zone tropicale humide.

Un exemple central en agro-écologie : les plantes de service et la gestion des enherbements

La diversité des communautés présentes dans les agrosystèmes est susceptible de favoriser la fourniture de multiples services écosystémiques. Le contrôle des plantes adventices (plantes provoquant des pertes de rendement par compétition avec la plante cultivée) est par exemple

directement en lien avec la biodiversité végétale présente sur les parcelles. L'introduction d'une plante de service est ainsi un moyen de modifier la composition de la communauté végétale afin de favoriser ce service. Dans notre exemple sur le contrôle des adventices, le choix de l'espèce est complexe car cela peut générer des compétitions avec la culture principale. Les plantes de service doivent donc satisfaire un ensemble des caractéristiques dont certaines peuvent être antagonistes (fig. 11.3).

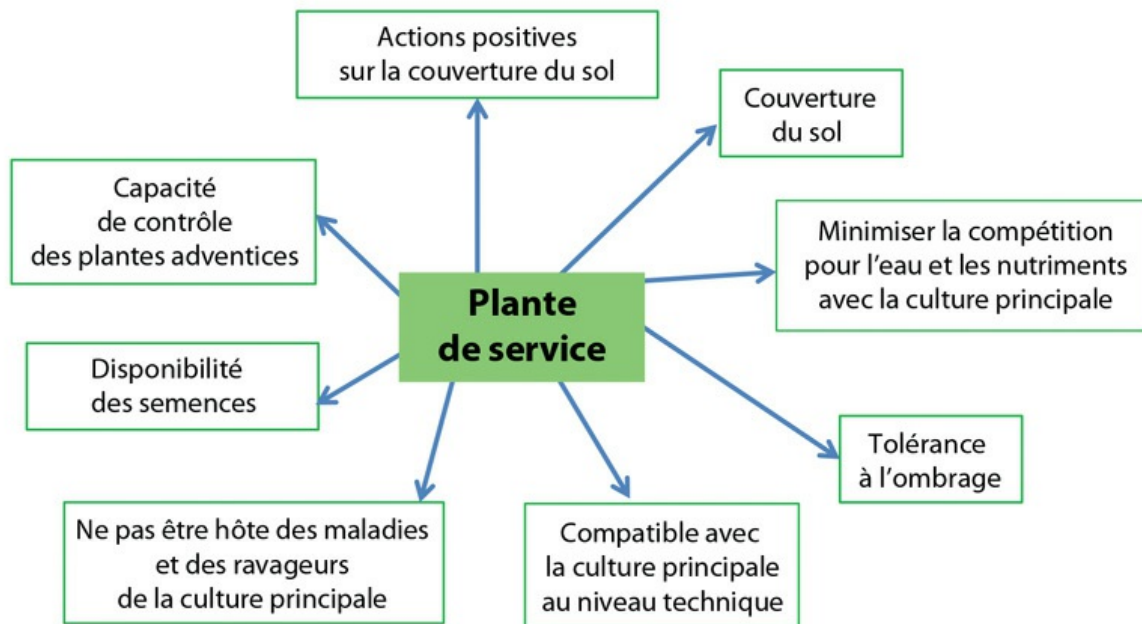


Figure 11.3. Ensemble des services devant être satisfaits par les plantes de service.

D'une manière générale, les plantes de service sont susceptibles de fournir de multiples services écosystémiques *via* les modifications physiques (structure physique et chimique du sol) et biologiques du milieu qu'elles engendrent (voir fig. 11.1). Elles sont ainsi par exemple de plus en plus employées dans divers systèmes de culture comme les bananeraies et les vergers pour lutter contre les adventices, et *in fine* limiter l'utilisation des herbicides (encadrés 11.4 et 11.5). Au-delà de cet objectif, l'ajout d'une plante de couverture modifie le fonctionnement global du système tant au niveau des cycles de l'eau et des nutriments (Tixier *et al.*, 2011), que des interactions entre les communautés d'insectes et de micro-organismes (Duyck *et al.*, 2009). L'ajout d'une nouvelle ressource dans le système est un levier très fort pour modifier les réseaux trophiques. Que ce soit dans le compartiment aérien ou souterrain, cette nouvelle ressource peut participer à l'augmentation de l'abondance des herbivores et ainsi favoriser celle des

prédateurs généralistes qui ensuite sont susceptibles d'exercer aussi une meilleure régulation des ravageurs.

Encadré 11.4. Les plantes de service en bananeraies

P. Tixier

Les plantes de service ont été largement utilisées dans les systèmes de culture bananiers des Antilles françaises, soit en période d'interculture, soit en association avec les bananiers. Ces deux possibilités reposent sur des plantes ayant des caractéristiques potentiellement différentes. En période d'interculture (jachère enherbée), en plus d'une très bonne capacité à couvrir le sol et à contrôler les plantes adventices, une plante de service adaptée aux jachères doit :

- ne pas être hôte des nématodes phytoparasites des bananiers (*Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae*) afin que la jachère joue son rôle de « vide sanitaire » ;
- améliorer la structure physique du sol (travail du sol biologique) ;
- être compatible avec la replantation des bananiers en fin de jachère et assurer des restitutions de nutriments après la plantation des bananiers.

Les caractéristiques des plantes de service associées au bananier doivent se situer dans la gamme étroite permettant le bon contrôle des plantes adventices sans provoquer de compétition pour les ressources avec les bananiers. Elles doivent également avoir suffisamment de plasticité pour s'adapter aux variations de la ressource lumineuse disponible au cours des cycles de production (fermeture de la canopée en premier cycle, réouverture après les récoltes). Une méthode pour sélectionner des plantes de service est basée sur la description de traits fonctionnels des espèces candidates comme évaluateurs (facilement mesurables) des services qu'elles sont susceptibles de fournir (Damour *et al.*, 2014). La mise en œuvre de cette approche a nécessité la caractérisation en collection d'un grand nombre d'espèces puis le test des plus prometteuses dans des prototypes de systèmes de culture. Ces étapes permettent de valider la sélection en prenant en compte les contraintes techniques et d'opérer les ajustements de gestion du couvert.

L'ajout d'une plante de couverture permet également de maintenir un réseau trophique plus abondant (prédateurs et omnivores) (Djigal *et al.*, 2012). Cependant, l'effet sur la régulation des bioagresseurs dépend souvent de l'espèce de la plante de couverture. Ainsi, les plantes de la famille des Poacées semblent plus favorables à la régulation des nématodes phytoparasites que celles de la famille des légumineuses. De manière similaire dans le compartiment aérien, les prédateurs généralistes (notamment la fourmi *Solenopsis geminata*) sont plus abondants dans les parcelles avec

une plante de couverture (*Brachiaria decumbens*) que dans les parcelles au sol nu (Mollot *et al.*, 2012).

Encadré 11.5. La gestion des enherbements spontanés en vergers

F. Le Bellec

Les agrumes sont souvent sujets à des attaques de divers bioagresseurs compromettant la qualité des récoltes et la vie des arbres pour certaines maladies. Les acariens phytophages et certains insectes (comme les thrips) occasionnent sur les fruits des dégâts irréversibles lorsque leurs populations sont importantes. Pour limiter ces dégâts, les producteurs appliquent de nombreux traitements phytosanitaires préventifs. Or les acariens de la famille des Phytoséiidés peuvent contribuer à réguler les populations d'acariens phytophages et des thrips. Cependant, la protection phytosanitaire vis-à-vis des premiers impacte nécessairement les seconds. Par la gestion raisonnée dans le temps et dans l'espace des enherbements spontanés des vergers d'agrumes, il est possible de promouvoir un habitat propice aux populations des Phytoséiidés dans les vergers (photo 11.2).

Des études ont ainsi été menées dans des vergers de producteurs de l'île de la Réunion (Rothé *et al.*, 2016 ; Simon *et al.*, 2017). La diversité floristique contenue dans les enherbements de ces vergers — quel que soit le mode de gestion de l'enherbement — assurait une abondance de traits fonctionnels synonymes d'habitats et de nourriture pour les prédateurs généralistes (coccinelles et Phytoséiidés). Treize espèces de Phytoséiidés ont ainsi été répertoriées dans les enherbements de ces vergers.

Le maintien d'un habitat peu perturbé au sein d'un verger permet donc potentiellement d'augmenter l'efficacité de la lutte biologique et de diminuer l'usage des pesticides. Mais comment augmenter la biodiversité fonctionnelle au sein de ces vergers pour assurer efficacement le service écosystémique de régulation des bioagresseurs ? L'étude des traits fonctionnels des espèces végétales de la flore spontanée a permis de prédire la composition des différents enherbements en réponse aux différents modes de gestion et donc de supprimer ou de favoriser certaines espèces végétales de ces communautés. Toutefois, pour garantir en permanence le service écosystémique de régulation des ravageurs, les tactiques de gestion doivent créer des habitats refuges de transition pour les auxiliaires. Cela implique de différencier dans le temps et dans l'espace des interventions de gestion des enherbements. Ces techniques sont donc complexes et nécessitent à la fois une bonne connaissance des processus et des techniques mises en œuvre.



Photo 11.2. La gestion des enherbements en vergers d'agrumes.
© Fabrice Le Bellec / Cirad.

L'utilisation de plantes de service existe également pour les cultures annuelles. L'association d'espèces annuelles comprend de nombreuses techniques dont les systèmes sous couverture végétale. Le semis direct

sous couvert végétal, pratique liée à l'agriculture de conservation, vise à maintenir une couverture végétale permanente, et à limiter le travail du sol à la ligne de semis. Cette pratique réduit ainsi l'érosion et renforce l'activité biologique du sol, contribuant à la gestion durable de la matière organique du sol. La technique de semis direct sous couvert végétal s'est répandue dans de nombreuses situations tropicales (Afrique, Amérique du Sud, Asie du Sud-Est notamment) mais aussi en France. En riziculture à Madagascar, les premiers essais de semis direct sous couverture végétale datent du début des années 1990. Ces couvertures ou *mulch* présentent plusieurs intérêts à la plantation du riz pluvial : elles procurent une importante matière organique, limitent l'évaporation directe du sol, diminuent les amplitudes thermiques à la surface du sol, et ont un effet net sur les adventices, ce qui augmente le rendement à la fin du cycle (Husson, 2013 ; Ranaivoson *et al.*, 2017). À titre d'exemple, le succès de la légumineuse pérenne *Stylosanthes guianensis* (Fabacée), comme plante de couverture produisant une forte biomasse et possédant des effets allélopathiques sur des bioagresseurs du sol comme les vers blancs voire aussi certains nématodes, a été démontré (Husson *et al.*, 2013 ; Husson *et al.*, 2015).

Dans le bassin cotonnier du Cameroun, le semis sous couvert végétal basé sur une rotation biennale céréale-cotonnier a été proposé après quatre années d'expérimentations concluantes (Naudin *et al.*, 2010). En première année, la céréale (sorgho ou maïs) est associée à une plante de couverture qui peut être une graminée (*Brachiaria ruziziensis*) ou une légumineuse (*Crotalaria retusa*). L'objectif est de maintenir le rendement de la céréale, base de l'alimentation familiale, tout en produisant suffisamment de biomasse pour couvrir le sol après la récolte. L'année suivante, le cotonnier est semé manuellement dans cette couverture végétale morte. Ce système a été adopté par les agriculteurs et vulgarisé par les organismes de développement.

Les systèmes agroforestiers

Les systèmes agroforestiers sont des systèmes cultivés qui associent plusieurs strates (au minimum une strate arborée à une strate herbacée), et qui incorporent une diversité spécifique souvent élevée. Entre champ cultivé et forêt (*ager* et *sylva*), les systèmes agroforestiers combinent espèces annuelles et pérennes, herbacées et ligneuses, selon un ensemble

de pratiques plus ou moins complexes. Les systèmes agroforestiers ne sont pas une spécificité tropicale : ils étaient très répandus dans les zones tempérées et méditerranéennes avant l'introduction de la mécanisation et connaissent un nouvel essor aujourd'hui. Dans les zones tropicales, ils sont très présents dans de très nombreuses petites exploitations familiales. Ils font l'objet d'un intérêt croissant de la communauté scientifique internationale.

L'association de deux espèces ligneuses

Les exemples les plus répandus d'agroforesterie dans le monde sont en fait représentés par les associations de plantes pérennes, c'est-à-dire la plantation de cultures pérennes (en particulier cacaoyers, caféiers, hévéas, cocotiers) en association avec d'autres espèces pérennes. Selon le cas, il peut s'agir d'arbres d'ombrage venant de forêts éclaircies — on parle alors d'agroforêts — ou de plantations spécifiques d'arbres d'ombrage, au moment de la plantation de la culture pérenne ou un peu avant. La diversité spécifique de l'ombrage est généralement plus faible dans le cas de plantations sur terrains nus.

On trouve également des associations entre deux cultures pérennes. Ces associations sont expliquées par la tolérance à l'ombrage de certaines d'entre elles, comme le caféier ou le cacaoyer, originaires des sous-bois. Dans d'autres cas toutefois, ces associations sont motivées par le délai entre la plantation de la culture pérenne et son entrée en production, et par le temps requis par certaines cultures pour occuper l'espace de la plantation. Ainsi, on trouve des plantations de caféiers qui entrent en production trois ans après la plantation, et dans les inter-rangs de l'hévéa qui produit six à sept ans après sa plantation. Dans la plupart des cas, l'agroforesterie permet la fourniture de nombreux services écosystémiques (encadré 11.6).

Encadré 11.6. L'agroforesterie à base de caféier et la fourniture de services écosystémiques

B. Rapidel

L'association de caféiers avec des arbres permet de fournir des services écosystémiques à l'agriculteur et à la société, ces derniers n'étant généralement pas comptabilisés (Rapidel *et al.*, 2011) (fig. 11.4 et photo

11.3). En suivant la classification proposée par le *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), on peut citer les différents services fournis par des plantations en Amérique centrale.

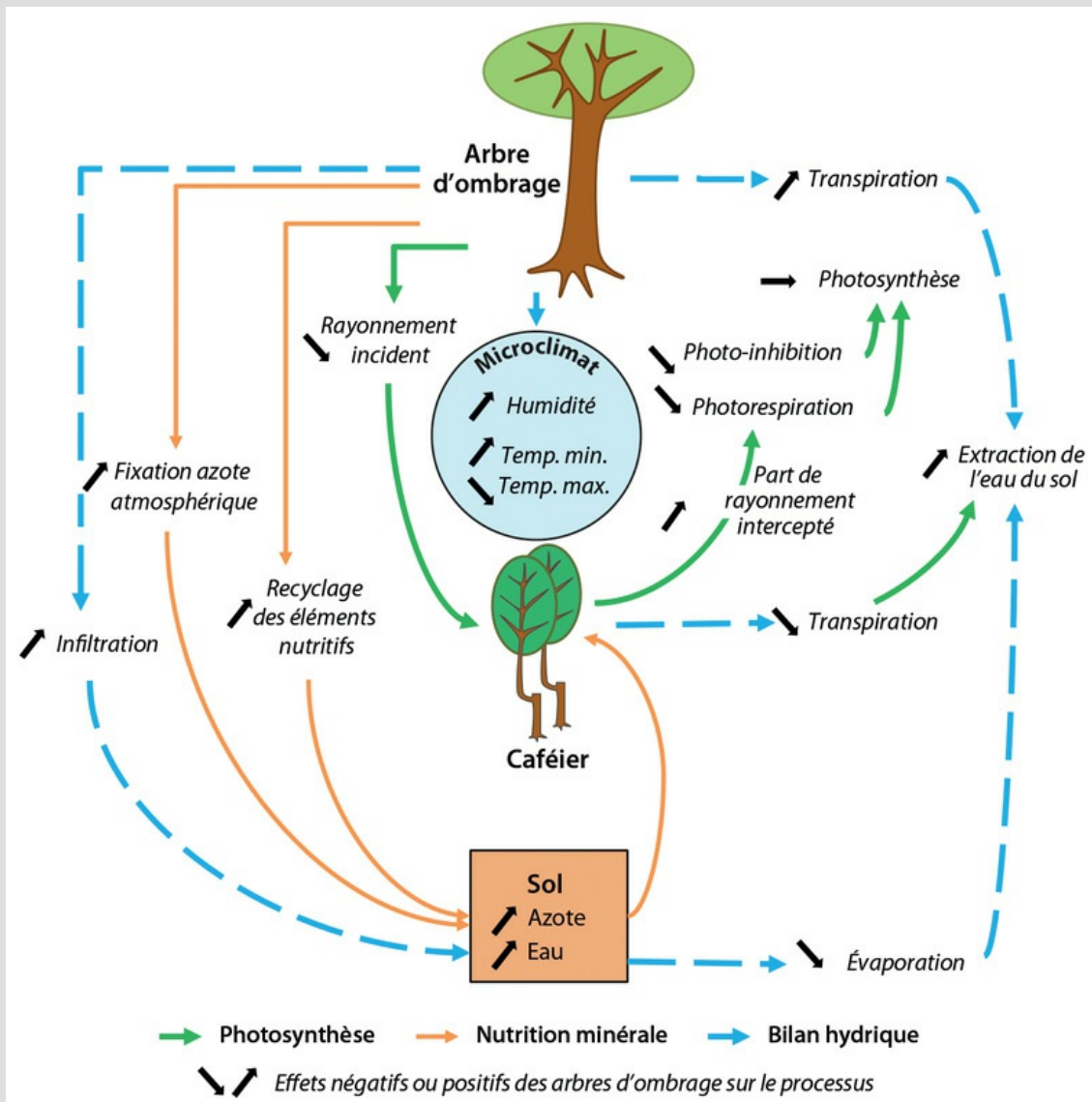


Figure 11.4. Effets des arbres d'ombrage sur la photosynthèse, le bilan hydrique et la nutrition minérale du caféier (Rapidel *et al.*, 2015).

Les services d'approvisionnement

On a montré que des plantations caféières agroforestières simplifiées produisent par exemple des bananes, permettant une diète de meilleure qualité (Meylan *et al.*, 2013). Dans des systèmes plus divers, les nombreux produits représentent des sources de revenu additionnel appréciables ; ces systèmes, à couverture du sol permanente, qui protègent la surface du sol avec des résidus en décomposition fournissent aussi de l'eau de meilleure qualité, moins chargée en sédiments, pour les barrages en aval.

Les services de régulation

Ces plantations procurent une régulation climatique, avec des bilans de gaz à effet de serre plus favorables du fait d'une moindre utilisation de fertilisants synthétiques (Hergoualc'h *et al.*, 2012) ; une régulation des bioagresseurs, par exemple par les oiseaux pour le scolyte du caféier, mais plus généralement par l'enrichissement des réseaux trophiques aériens et souterrains. Ces régulations dépendent toutefois des bioagresseurs considérés, certaines maladies fongiques en particulier pouvant être favorisées par les conditions microclimatiques à l'ombre des arbres.

Les services de support

Dans ces plantations, le recyclage des éléments nutritifs est amélioré (ce qui a été abondamment prouvé), mais aussi la fixation symbiotique de l'azote (Meylan *et al.*, 2017), ainsi que la conservation de la fertilité du sol.

Enfin, l'effet positif des systèmes agroforestiers sur la conservation de la biodiversité des plantes et des animaux a également été clairement prouvé à de nombreuses reprises (DeClerck *et al.*, 2010). Il est relativement clair que ces systèmes sont préférables aux plantations en plein soleil pour les sociétés, en particulier lorsque ces capacités à fournir des services sont combinées dans des exercices de co-conception de systèmes agroforestiers avec les producteurs (Meylan, 2012). Ces services devraient donc procurer aux producteurs des revenus supérieurs. Ce n'est toutefois pas toujours le cas, en particulier quand le seul produit commercialisé est le café, dont la production, selon les cas, peut être inférieure en système agroforestier.



Photo 11.3. Caféiers sous ombrage. © Bruno Rapidel / Cirad.

Les systèmes agroforestiers complexes en zone tropicale humide

Conçus sur le modèle de la forêt tropicale à plusieurs strates, les systèmes agroforestiers en zone tropicale humide et subhumide assurent à la fois la subsistance des populations locales et d'importantes fonctions environnementales et socio-économiques. Caractérisés par une diversité biologique planifiée élevée (l'agriculteur gère de manière planifiée un nombre important d'espèces végétales), une forte hétérogénéité structurelle du système, une évolution significative de la structure de la végétation sur un pas de temps long, la fourniture de nombreux services écosystémiques, les systèmes agroforestiers en zone humide offrent un exemple marquant de durabilité reposant sur le rôle de la biodiversité (encadré 11.7).

Encadré 11.7. Les systèmes agroforestiers humides

É. Malézieux

En Amérique centrale, en Asie, en Afrique, certaines plantations agroforestières de caféiers ou de cacaoyers reproduisent la structure des forêts naturelles et ont des indices de biodiversité souvent comparables aux forêts protégées, représentant ainsi une valeur importante en matière de conservation (Deheuvels *et al.*, 2012) (photo 11.4). Une diversité élevée de plantes cultivées ou spontanées sert de refuge et d'habitat à de nombreuses espèces végétales et animales, jouant ainsi un rôle déterminant dans le maintien de la biodiversité patrimoniale dans des zones sensibles. Au plan social, la multiplicité des sources de revenus ou de services (bois, pharmacopée, cueillette, chasse, protection climatique, limitation des pertes en nitrate, paysage, protection contre l'incendie, etc.) offertes par les systèmes agroforestiers constitue souvent un facteur de stabilité important, comme le montre l'exemple des cacaoyères au Cameroun (Jagoret *et al.*, 2014 et chap. 3). Cela permet de compenser l'instabilité des cours des produits agricoles (cas des produits tropicaux comme le café ou le coprah).



Photo 11.4. Parcelle agroforestière, Cameroun. © Éric Malézieux / Cirad.

Comment relier les principes de l'agro-écologie

à l'action ?

L'agro-écologie puise ses principes dans l'analyse du fonctionnement des écosystèmes naturels. Au-delà de la parcelle, la mise en œuvre de ces principes dans les agrosystèmes nécessite l'appréhension de plusieurs niveaux d'organisation. Ainsi, c'est d'abord au niveau de l'exploitation agricole que doit s'inscrire la démarche agro-écologique (choix des espèces, interactions animal-végétal, positionnement des cultures dans le terroir de l'exploitation et dans l'organisation temporelle des travaux agricoles, maintien d'îlots de biodiversité, etc.). Plus largement, l'échelle du bassin versant doit également être considérée, comme celle du paysage (au sens de *landscape ecology*) pour, en particulier, prendre en compte les régulations propres aux interactions territoriales et aux habitats des différentes espèces de bioagresseurs et auxiliaires. Mais la démarche agro-écologique doit également s'intégrer dans les systèmes sociaux, plus ou moins territorialisés, que constituent les filières et, plus largement, dans les systèmes alimentaires (fig. 11.5).

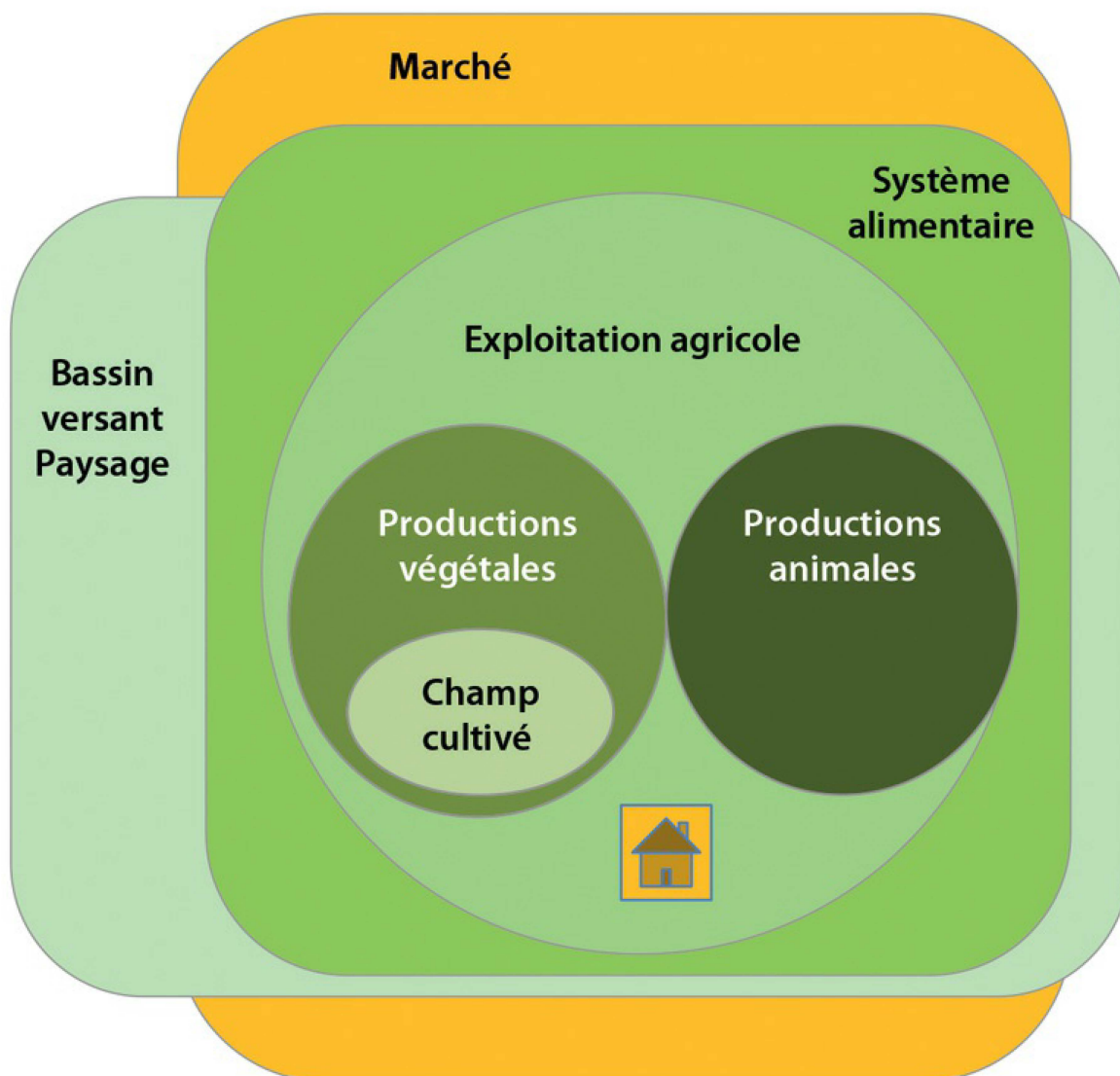


Figure 11.5. Les différentes échelles d'intégration (d'après Griffon, 2013).

La démarche agro-écologique pose également la question du processus d'innovation. Il existe un chemin important, qui peut être long et sinueux, entre d'une part la création des connaissances scientifiques sur le fonctionnement des écosystèmes et d'autre part leur utilisation dans la conception d'un système agricole durable, mis en œuvre par des agriculteurs. Autrement dit, il existe de nombreuses étapes entre la formalisation des principes qui serviraient de base à une agriculture considérée comme « agro-écologique » et leur traduction dans des systèmes techniques réels observables à grande échelle. Dans le domaine de l'agro-écologie, l'innovation exige souvent l'appropriation durable et la mobilisation par les agriculteurs de connaissances à la fois scientifiques et locales sur des processus parfois complexes. Elle nécessite également des


boucles d'interaction entre des chercheurs, des acteurs du développement et des agriculteurs. Plusieurs démarches ont tenté de formaliser ces processus d'innovation entre les acteurs. Citons à titre d'exemple les démarches entreprises en verger (Le Bellec *et al.*, 2012) ou la démarche DATE (*Diagnosis, Design, Assessment, Training and Extension*) qui permet de co-concevoir des systèmes de culture innovants en agriculture de conservation, mais aussi d'effectuer des évaluations multicritères (Husson *et al.*, 2015) : cette démarche multi-échelles associe plusieurs partenaires et c'est une approche participative intégrant la connaissance scientifique et les savoirs locaux. D'une manière générale, la mise en œuvre du paradigme de l'agro-écologie requiert que la recherche intègre ces éléments nouveaux et puisse les mettre en œuvre dans un contexte élargi aux acteurs du développement et de la société civile. La mise en œuvre de politiques publiques adaptées constitue ainsi certainement un élément déterminant du développement de l'agro-écologie dans le monde.

Références

Cockburn J., Coetzee H., Van den Berg J., Conlong D., 2014. Large-scale sugarcane farmers' knowledge and perceptions of *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae), push-pull and integrated pest management. *Crop Prot.*, 56, 1-9.

Conlong D.E., Rutherford R.S., 2009. Conventional and new biological and habitat interventions for integrated pest management systems: Review and case studies using *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). In : *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process* (R. Peshin, A.K. Dhawan, eds), Springer, Dordrecht, Pays-Bas, 241-261.

DeClerck F.A., Chazdon R., Holl K.D., Milder J.C., Finegan B., Martinez-Salinas A., Imbach P., Canet L., Ramos Z., 2010. Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: Past, present and future. *Biol Conserv.*, 143, 2301-2313.

Damour G., Dorel M., Quoc H.T., Meynard C., Risède J.M., 2014. A trait-based characterization of cover plants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 52, 218-228, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.004> .

- Damour G., Navas M.L., Garnier E., 2018. A revised trait-based framework for agroecosystems including decision rules. *J App Ecol*, 55, 12-24.
- Deheuvels O., Avelino J., Somarriba Chavez E., Malézieux E., 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149 (1), 181-188.
- Diack M., Sene M., Badiane A.N., Diatta M., Dick R.P., 2000. Decomposition of a native shrub, *Piliostigma reticulatum*, litter in soils of semiarid Senegal. *Arid Soil Res Rehab*, 14, 205-218.
- Djigal D., Chabrier C., Duyck P.-F., Achard R., Quénéhervé P., Tixier P., 2012. Cover crops alter the soil nematode food web in banana agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 48, 142-150.
- Duyck P.F., Pavoine S., Tixier P., Chabrier C., Quénéhervé P., 2009. Host range as an axis of niche partitioning in the plant-feeding nematode community of banana agroecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1139-1145.
- Garrity D.P., Akinnifesi F.K., Ajayi O.C., Weldesemayat S.G., Mowo J.G., Kalinganire A., Larwanou M., Bayala J., 2010. Evergreen Agriculture: A robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Secur*, 2, 197-214.
- Goebel F.R., Beuzelin J., Way M.J., 2018. Progress in understanding and managing insect pests affecting sugarcane. In : *Achieving Cultivation of Sugarcane* (P. Rott, ed.), vol. 2, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, Royaume-Uni.
- Hergoualc'h K., Blanchard E., Skiba U., Henault C., Harmand J.M., 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agr Ecosyst Environ*, 148, 102-110.
- Husson O., Séguy L., Charpentier H., Rakotondramanana, eds, 2013. *Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) : Application à Madagascar*, GSDM/Cirad, Antananarivo, Madagascar, 716 p.

Husson O., Tran Quoc H., Boulakia S., Chabanne A., Tivet F., Bouzinac S., Lienhard P., Michellon R., Chabierski S., Boyer J., Enjalric F., Rakotondramanana, Moussa N., Frédéric Jullien F., Balarabe O., Rattanatrasy B., Castella J.C., Charpentier H., Séguy L., 2015. Co-designing innovative cropping systems that match biophysical and socio-economic diversity: The DATE approach to Conservation Agriculture in Madagascar, Lao PDR and Cambodia. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1-19, <https://doi.org/10.1017/S174217051500037X> ☐.

Jagoret P., Kwesseu J., Messie C., Michel-Dounias I., Malézieux E., 2014. Farmers' assessment of the use of value of agrobiodiversity in complex cocoa agroforestry systems in central Cameroon. *AgroForestry Systems*, 88 (6), 983-1000.

Kizito F., Dragila M.I., Senè M., Brooks J.R., Meinzer F.C., Diedhiou I., Diouf M., Lufafa A., Dick R.P., Selker J., Cuenca R., 2012. Hydraulic redistribution by two semi-arid shrub species: Implications for Sahelian agro-ecosystems. *J Arid Environ*, 83, 69-77.

Le Bellec F., Rajaud A., Ozier Lafontaine H., Bockstaller C., Malézieux E., 2012. Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (3), 703-714, <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0070-9> ☐.

Loupe D., 1991. *Guiera senegalensis* : espèce agroforestière ? *Bois et forêts des tropiques*, 228, 41-47.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier Lafontaine H., Rapidel B., De Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1) 43-62, <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2007057> ☐.

Malézieux E., 2012. Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (1), 15-29, <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z> ☐.

Meylan L., 2012. Design of cropping systems combining production and ecosystem services: Developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers. *Fonctionnement des écosystèmes*

naturels et cultivés, thèse, Montpellier Supagro, Montpellier, 153 p.

Meylan L., Merot A., Gary C., Rapidel B., 2013. Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. *Agr Syst*, 118, 52-64.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC, États-Unis, 155 p.

Mollot G., Tixier P., Lescourret F., Quilici S., Duyck P.-F., 2012. New primary resource increases predation on a pest in a banana agroecosystem. *Agricultural and Forest Entomology*, 14 (3), 317-323.


Nibouche S., Tibère R., Costet L., 2012. The use of *Erianthus arundinaceus* as a trap crop for the stem borer *Chilo sacchariphagus* reduces yield losses in sugarcane crops: Preliminary results. *Crop Prot*, 42, 10-15.

Naudin K., Gozé E., Balarabe O., Giller K.E., Scopel E., 2010. Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: A multilocal on-farm assessment. *Soil and Tillage Research*, 108 (1-2), 68-76, [http://dx.doi.org/ 10.1016/j.still.2010.03.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.03.002) ☐

Ranaivoson L., Naudin K., Ripoche A., Rabeharisoa L., Corbeels M., 2018. Is mulching an efficient way to control weeds? Effects of type and amount of crop residue in rainfed rice based cropping systems in Madagascar. *Field Crop Research*, 217, 20-31.

Rapidel B., Allinne C., Cerdán C., Meylan L., Virginio Filho E.D.M., Avelino J., 2015. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. In : *Sistemas Agroforestales en el Neotrópico. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. (F. Montagnani, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, B. Eibl, eds), Catie-Serie Técnica, Turrialba, Costa Rica, 5-20.

Rapidel B., DeClerck F., Le Coq J.F., Beer J., eds, 2011. *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and payment*, Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 433 p.

Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J., Habib R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (1), 273-303, <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4> .

Rothé M., Le Bellec F., Payet R-M., Bockstaller C., 2016. Impact of weeds management on the floristic composition and abundance of the cover in citrus orchards: A step to conservation biological control. 14th ESA Congress, 5-9 septembre 2016, Édimbourg, Écosse.

Roupsard O., Ferhi A., Granier A., Pallo F., Depommier D., Mallet B., Joly H.I., Dreyer E., 1999. Reverse phenology and dry-season water uptake by *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. in an agroforestry parkland of Sudanese west Africa. *Funct Ecol*, 13, 460-472.

Simon S., Lesueur-Jannoyer M., Plénet D., Lauri P.E., Le Bellec F., 2017. Methodology to design agroecological orchards: Learnings from on-station and on-farm experiences. *European Journal of Agronomy*, 82, 320-330.

Tixier P., Lavigne C., Alvarez S., Gauquier A., Blanchard M., Ripoche A., Achard R., 2011. Model evaluation of cover crops, application to eleven species for banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34, 53-61.

Weemstra M., Mommer L., Visser E.J.W., Van Ruijven J., Kuyper T.W., Mohren G.M.J., Sterck F.J., 2016. Towards a multidimensional root trait framework: A tree root review. *New Phytol*, 211, 1159-1169.

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515.

Wright I.J., Reich P.B., Westoby M., Ackerly D.D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin T., Cornelissen J.H.C., Diemer M., Flexas J., Garnier E., Groom P.K., Gulias J., Hikosaka K., Lamont B.B., Lee T., Lee W., Lusk C., Midgley J.J., Navas M.-L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomas S.C., Tjoelker M.G., Veneklaas E.J., Villar R., 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428, 821.

Évaluation des compromis entre enjeux environnementaux et socio-économiques dans les systèmes agro-écologiques

François Affholder, Cécile Bessou, Juliette Lairez, Pauline Feschet

Le concept de développement durable tel que proposé en 1987 par l'ONU dans son rapport « Notre avenir à tous » met en exergue la notion de solidarité inter- et intragénérationnelle, en affirmant que le « développement durable doit permettre de satisfaire les besoins des générations présentes sans compromettre ceux des générations futures » (rapport Bruntland, WCED, 1987). Il en résulte la nécessité de prendre en compte les dimensions sociale, environnementale et économique des activités humaines (ou « *People, Planet, Profit* », cf. Elkington, 1997).

Les facteurs de la durabilité dans chacune de ces dimensions sont innombrables et peuvent agir en synergie ou de manière antagoniste. Il n'est donc pas possible de mesurer de manière absolue la durabilité d'un mode particulier d'exploitation de la nature. On doit à la fois se contenter de comparer des options entre elles et accepter que cette comparaison comprenne une part irréductible de subjectivité, comme dans tout « modèle », c'est-à-dire comme dans toutes les méthodes d'étude des systèmes complexes.

De plus, les objectifs spécifiques de l'évaluation peuvent être très variés : il peut s'agir d'éclairer la décision publique pour améliorer la durabilité de modes de production, ou la décision du citoyen, ou encore celle de praticiens souhaitant évaluer leurs propres actions. L'évaluation associe souvent plusieurs types d'acteurs, aux objectifs et points de vue divers, dans le but de construire une vision commune des enjeux dans laquelle éventuellement les différents points de vue seront identifiés et reconnus comme légitimes. L'ambition de rendre la complexité du problème appréhendable dans tous ces cas de figure, et donc aussi de disposer malgré tout de standards susceptibles d'éclairer le plus grand nombre, conduit à un effort soutenu, depuis deux décennies, de production de méthodes de la part de la communauté scientifique.

Aujourd'hui, ces méthodes, dites « méthodes d'évaluation multicritères », foisonnent. Comment s'y retrouver ? Lesquelles sont les plus adaptées pour éclairer la décision des acteurs du développement durable de l'agriculture ? Et plus particulièrement dans le cas des agricultures familiales du Sud ? Quelles recherches conduire pour améliorer notre capacité collective à juger de la durabilité de l'agriculture ? C'est à ces questions que ce chapitre tente de répondre.

Les enjeux de l'évaluation multicritère de la durabilité des agricultures du Sud

L'approche du développement durable selon ses trois dimensions (sociale, environnementale, économique) a été largement plébiscitée et déclinée d'une multitude de manières. Néanmoins, contrairement à l'essence holistique initiale du développement durable, cette approche a aussi été le prétexte de divers clivages entre les enjeux et les acteurs plus ou moins concernés par chacune des dimensions en fonction des priorités d'un lieu ou d'un moment, assez généralement du fait de la difficulté d'assumer la nécessaire transdisciplinarité dans la conception et la mise en œuvre du développement durable. En effet, ce clivage dimensionnel traduit le problème de la prise en compte des interactions entre ces dimensions et de leur intégration. Au-delà de la complexité d'évaluer ces interactions à part entière, cette approche met de plus l'accent sur la nécessité de compromis plutôt que sur la mutualisation des services entre dimensions (Gibson, 2006). L'approche par les trois dimensions de la durabilité n'est donc pas neutre. Elle procède de différents choix en termes de priorité et induit nécessairement des biais dans l'intégration des résultats.

Dans les pays industrialisés, où est né le concept politique de durabilité, et où rares sont les environnements non impactés par l'activité humaine, la dimension environnementale prévaut depuis l'origine, avec l'enjeu historique du risque de raréfaction des ressources qui alerta ses premiers concepteurs. D'autres sociétés, pour lesquelles la raréfaction des ressources est moins prédominante par rapport au développement socio-économique, ne perçoivent pas l'essence de chacune des trois dimensions de la durabilité. C'est notamment le cas dans différents pays tropicaux en voie de développement. Ainsi, une étude sur la perception de la durabilité par les agriculteurs familiaux en Indonésie a montré que les trois dimensions de la durabilité n'étaient pas disjointes pour ces acteurs mais

intrinsèquement imbriquées, non dissociables et donc non superposables (Bessou *et al.*, 2017). Pour ces acteurs, par exemple, une forêt est à la fois un bien commun environnemental, culturel et social, et une source individuelle de matériaux, de revenus et d'autres services. Cette ressource n'est pas perçue à travers un prisme de protection de la biodiversité qui s'opposerait à la croissance économique, mais comme un ensemble multidimensionnel.

La définition de la durabilité, donc la nécessité de préserver les générations futures, n'a de sens que globalement. Pour réconcilier local et global, il semble nécessaire d'opérer un changement d'échelle dans la conception de la durabilité et du développement durable. Ce changement d'échelle est entendu à la fois, en termes géographiques, comme un changement de résolution des perceptions, et, en termes systémiques, comme la prise en compte des divers niveaux d'organisation aux différentes échelles (Macary, 2013). Ce problème d'échelle est donc intrinsèquement lié à un problème d'interdisciplinarité, et tous deux constituent ainsi les problèmes fondamentaux de l'évaluation de la durabilité. Des développements conceptuels plus récents abordent par conséquent la durabilité sous l'angle de l'étude des systèmes complexes (Capra et Luisi, 2014 ; Capra, 1996, 2002) mais ne fournissent pas de méthode d'évaluation multicritère.

Il n'existe donc pas de théorie unique du développement durable ni de consensus sur la relation entre durabilité et développement durable. Certains auteurs considèrent le développement durable comme un moyen d'atteindre la durabilité (comme Diesendorf, 2000), tandis que d'autres interprètent la durabilité comme un prérequis pour le développement durable (Sartori *et al.*, 2014). Dans tous les cas, le développement durable n'est pas un concept neutre. Ainsi les méthodes d'évaluation et les indicateurs de durabilité comportent des conceptions morales et normatives (Thiry et Cassiers, 2010). Par conséquent, malgré le besoin urgent de méthodes et d'outils, le chercheur impliqué dans l'évaluation multicritère doit prendre en compte le fait que le développement durable n'est pas encore une discipline mature ; de nombreuses questions restent ouvertes et la prise de conscience des valeurs sous-jacentes est de la plus haute importance.

Standardiser l'évaluation de la durabilité ?

Pour autant, des efforts importants ont été consacrés à construire des méthodes de référence au domaine de validité le plus large possible, permettant ainsi de comparer un très grand nombre de systèmes agricoles pour éclairer le choix du citoyen, du consommateur ou du décideur public. Ces efforts ont abouti à des outils reconnus et fréquemment utilisés, notamment lorsque seule la dimension environnementale de la durabilité est considérée.

L'analyse du cycle de vie dite « environnementale »

L'exemple phare est celui de l'analyse du cycle de vie dite « environnementale » (ACV, ou LCA en anglais, pour *Life Cycle Assessment*). L'ACV environnementale consiste à évaluer les impacts environnementaux potentiels d'un produit ou d'un service depuis l'extraction des matières premières nécessaires à sa fabrication jusqu'à sa fin de vie, en passant par toutes les étapes de son parcours dans la chaîne de valeur (production, transport, distribution, consommation). Introduite dans les années 1980, l'ACV est vite devenue une référence méthodologique internationale. Elle est par exemple obligatoire dans divers cadres décisionnels tels que la directive européenne sur les Énergies renouvelables (2009) ou l'affichage environnemental européen, dit *Product Environmental Footprint*. L'intérêt porté à l'ACV réside à la fois dans l'étendue du système analysé, la filière, et dans son approche multicritère selon plusieurs impacts environnementaux (par exemple changement climatique, eutrophisation, épuisement des ressources fossiles, toxicité, etc.). Cela permet d'identifier et potentiellement de maîtriser les « transferts d'impact[44] », lorsque l'on compare plusieurs scénarios de production d'un même produit ou lorsque l'on compare deux produits remplissant la même fonction. Cela est essentiel pour améliorer les systèmes de production, là où des approches moins englobantes risqueraient de déplacer les problèmes. C'est pourquoi cette approche a suscité la mobilisation d'une large communauté internationale, qui a permis l'émergence de normes ISO spécifiques[45] et assure l'actualisation et l'amélioration continue de la méthode. Par ailleurs, une communauté croissante travaille également à des propositions d'indicateurs socio-économiques dans le cadre de l'ACV dite alors « ACV sociale ».

Les normes ISO, qui régissent la mise en œuvre de l'ACV, déterminent à la fois les étapes de mise en œuvre de la méthode et les modalités de

publication des résultats. Ainsi ces normes garantissent, lorsqu'elles sont correctement appliquées, une procédure d'évaluation transparente et reproductible. Il en découle que l'existence d'une telle norme est *a priori* porteuse de l'espoir d'obtenir un consensus, dans la sphère des décideurs comme dans celle des consommateurs, sur les produits et systèmes de production à privilégier pour réduire les impacts négatifs des activités humaines sur l'environnement.

L'empreinte écologique

Le concept d'empreinte écologique est un autre exemple mais qui lui n'a pas fait l'objet d'une norme établie sous l'égide de l'ISO. Ce concept est promu par une organisation indépendante, le *global footprint network*, qui définit et fait évoluer le standard et formule des recommandations pour la mise en œuvre du concept, en mobilisant des experts. L'empreinte écologique est à l'origine un indicateur exprimé en surface de sol « bio-productive » qu'il faut mobiliser pour satisfaire de façon durable la consommation d'une population donnée et absorber les déchets générés et les émissions de gaz à effets de serre. Appliqué à la planète entière, cet indicateur a servi à communiquer sur le degré à partir duquel la consommation globale n'est pas « durable », avec une empreinte écologique globale exprimée en nombre de planètes Terre supérieur à 1, et une date, chaque année plus précoce jusqu'ici, à partir de laquelle la consommation globale dépasse les capacités de la planète. La force symbolique du concept est certaine et l'a rendu populaire, ce qui a en retour stimulé son emploi comme outil de comparaison de l'impact des populations de différents pays sur leur environnement. Le concept a plus récemment été étendu à l'évaluation environnementale de produits et organisations.

Une certaine relativité des méthodes

Ces deux approches de l'évaluation des impacts environnementaux sont très différentes et fournissent des résultats difficilement comparables. Il y a bien plusieurs manières d'évaluer les impacts environnementaux des activités humaines et chaque méthode assume une part de simplification des systèmes complexes étudiés. La standardisation d'une méthode d'évaluation de la durabilité ne signifie donc pas que l'évaluation soit elle-

même unique ni que ses résultats soient absolus. L'évaluation demeure relative, en fonction notamment des objectifs de l'étude, et des connaissances et données disponibles au moment de l'évaluation.

L'objectif de standardiser des méthodes est contraint également par la difficulté de définir certaines grandeurs de manière acceptable par tous. Par exemple comment quantifier la valeur d'une forêt comme espace récréatif ? À quelle échelle de temps et d'espace doit-on évaluer les services fournis par des systèmes agroforestiers complexes ? Est-ce la même chose pour une société rurale en crise qui, devant assurer sa survie à court terme, serait condamnée à « faire feu de tout bois », ou pour une société relativement opulente et capable d'épargner des ressources en fonction d'objectifs à long terme ? Comment construire des consensus larges sur ces questions si ce sont seulement des « experts », n'ayant pas nécessairement l'expérience de la grande pauvreté, qui sont réunis pour cela (Silva-Casteneda *et al.*, sous presse) ? Autre exemple, peut-être plus abstrait : la valeur de la biodiversité est-elle seulement liée aux services écosystémiques auxquels elle contribue ou n'a-t-elle pas aussi pour l'humanité une valeur qui transcenderait cela, de l'ordre du spirituel, et donc à la fois universelle et éminemment dépendante des individus ?

Reconnaître la part de subjectivité des évaluations multicritères

Un grand nombre de méthodes et de démarches reconnaissent explicitement la dépendance de l'évaluation de la durabilité aux points de vue des acteurs, et proposent des principes méthodologiques généraux mais laissent une place importante à des ajustements au cas par cas, qui pourraient être décidés par tous types d'acteurs concernés par l'évaluation et construisant ainsi ensemble une vision commune de la durabilité d'un système.

En France, de nombreux acteurs du monde scientifique assimilent directement l'évaluation multicritère à la mise en œuvre, au service d'une telle évaluation de la durabilité, de ce que les mathématiciens appellent les « hiérarchies multi-attributs ». Ces démarches sont fondées sur l'identification d'un certain nombre d'indicateurs élémentaires des performances économiques, sociales et environnementales des systèmes à comparer, l'attribution de valeurs à ces indicateurs pour chacun des

systèmes comparés, et l'application de règles de pondération et d'agrégation de manière à aboutir à un classement des différents critères de durabilité (voir par exemple Sadok *et al.*, 2008) (fig. 12.1). Tous ces éléments de la méthode peuvent être décidés au cas par cas. Les méthodes appartenant à ce groupe sont reconnues comme relativement simples à comprendre dans leurs principes généraux, et faciles à mettre en pratique et en discussion (voir par exemple la méthode Masc[46]). Mais les très nombreuses variations possibles dans les méthodes d'agrégation des critères et de classification des objets évalués sont subtiles et complexes à appréhender, et font l'objet de nombreux débats de spécialistes. Or elles peuvent avoir un impact considérable sur les classifications obtenues. D'une manière plus générale, la principale critique dont elles font l'objet est la grande sensibilité des classements obtenus à tous les paramètres de la méthode, avec de nombreux effets de seuil qui rendent en même temps très délicate l'évaluation de leur robustesse.

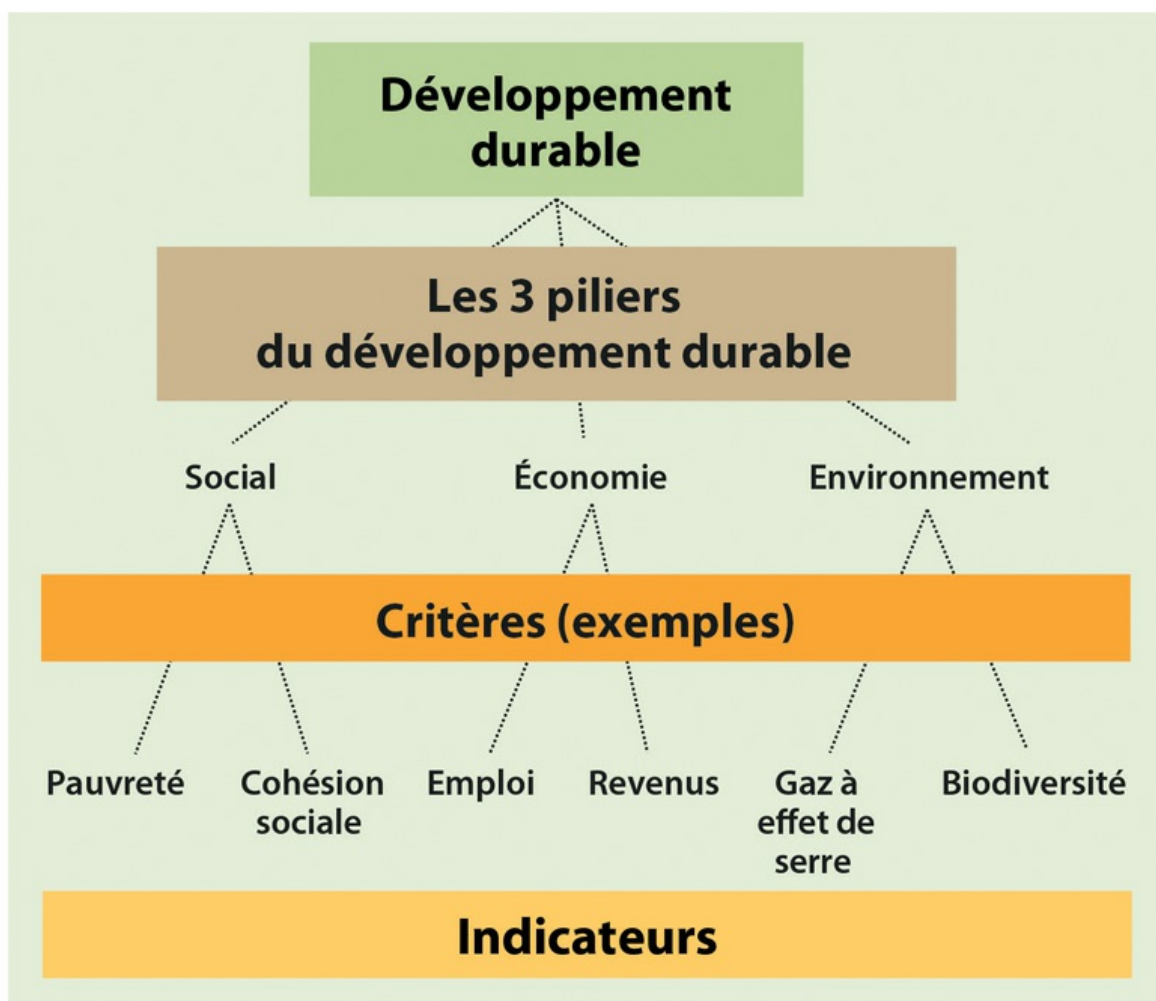


Figure 12.1. Exemple d'une hiérarchie multi-attribut représentant le développement durable sous la forme d'un arbre à plusieurs

niveaux d'agrégation.

Beaucoup de praticiens et de chercheurs ne mettent pas en avant le terme « multicritère » et préfèrent parler d'évaluation intégrée des systèmes agricoles, avec l'idée de souligner le caractère systémique de la démarche et la complexité du système étudié. Jusqu'à une période récente, les travaux se revendiquant de l'évaluation intégrée avaient tendance à recourir assez peu aux méthodes multi-attributs, et plutôt à des méthodes dites d'optimisation sous contraintes. Dans ces méthodes, une hypothèse-clé est que les exploitations agricoles sont des entreprises avec leurs objectifs propres, gérées par des décideurs rationnels dont le rôle est central dans la durabilité de l'agriculture. Des modèles sont construits pour simuler la décision des exploitants agricoles qui auraient à choisir des techniques de production parmi plusieurs options, en fonction d'objectifs et de contraintes. Ces modèles décrivent les mécanismes déterminant les performances économiques et environnementales des exploitations pour en prédire autant que possible les variations en fonction de variations dans leurs environnements biophysiques, économiques et sociaux. Ces modèles opèrent de façon très variable et souvent complexe, comme les changements d'échelle entre les systèmes de culture ou d'élevage et le système de production, ou entre l'exploitation et la région ou le marché. Ces méthodes appartiennent au même domaine mathématique que les hiérarchies multi-attributs, la « recherche opérationnelle », et posent des problèmes de même nature quant à l'évaluation de leur robustesse, ou à la transparence des choix méthodologiques que représentent les innombrables variantes possibles.

Cette similarité entre les méthodes multi-attributs et l'optimisation sous contrainte semble être de plus en plus acceptée par les spécialistes des deux méthodes, qui les reconnaissent, davantage qu'il y a quelques années, comme toutes deux « multicritères » et toutes deux « d'optimisation ».

Mais il existe bien des différences importantes, et comparativement aux hiérarchies multi-attributs, la présentation à des non-spécialistes des méthodes basées sur la programmation mathématique, et *a fortiori* l'implication des non-spécialistes dans leur mise en œuvre, sont plus malaisées. Cette approche est parfois sévèrement critiquée pour sa dépendance à l'hypothèse de rationalité des agriculteurs, notamment lorsqu'elle est interprétée (mais alors de manière abusive) comme une réduction des agriculteurs à un « *homo economicus* » qui serait mu

exclusivement par l'objectif de maximiser son revenu. Mais il est en fait possible de prendre en compte des objectifs très variés des producteurs, dans ces méthodes (voir par exemple Lozano Vita *et al.*, 2017 ; Berbel et Rodriguez-Ocaña, 1998 ; Flinn *et al.*, 1980).

Et surtout, de nombreux exemples ont montré l'intérêt de ces méthodes pour évaluer des systèmes agro-écologiques dans leurs dimensions économique et sociale pour les agricultures familiales (Affholder *et al.*, 2010 ; Naudin *et al.*, 2014 ; Alary *et al.*, 2016 ; Belhouchette *et al.*, 2011). Elles permettent en effet d'identifier clairement les antagonismes entre l'objectif économique à court terme des exploitants et les objectifs de maintien ou d'augmentation à long terme de services écosystémiques autres que le service d'approvisionnement, y compris pour des exploitations complexes, avec des activités très diverses et où des indicateurs économiques simples échouent à représenter les interactions entre activités qui concourent à la formation du revenu.

Plus précisément, il est souvent possible d'obtenir par ces méthodes une quantification du compromis à trouver entre les dimensions de la durabilité, par une estimation des pertes de revenu à court terme de producteurs qui mettraient en œuvre des techniques agro-écologiques, et donc d'évaluer le niveau de rémunération qu'il faudrait associer aux services environnementaux pour concilier, par un maintien du revenu des producteurs, leurs objectifs économiques de court terme et des objectifs relatifs à ces services. Cette propriété de la méthode est particulièrement précieuse dans le contexte de l'agriculture familiale pauvre des pays du Sud, où les producteurs ont en pratique à assurer à très court terme la survie de leur famille. Lorsque le revenu d'une exploitation est de moins d'un euro par actif et par jour, autoconsommation incluse, et que cet actif doit assurer la subsistance de deux ou trois inactifs (très jeunes enfants, vieillards), comme c'est le cas dans l'écrasante majorité des exploitations agricoles d'Afrique au sud du Sahara, il est particulièrement important d'évaluer si une alternative agro-écologique à ses pratiques actuelles ne risque pas de réduire à court terme, même faiblement, ce revenu, quelle que soit la promesse d'amélioration de ce revenu à plus long terme que l'agro-écologie peut porter.

Dans ces évaluations intégrées, les « modèles de ferme » calculent le revenu agrégé des différentes activités d'une exploitation agricole en tenant compte des flux de ressources entre activités (par exemple la

matière organique issue de l'élevage et utilisée dans la fertilisation des cultures). Cela permet de comprendre comment une transition vers un système agro-écologique dans une activité donnée de l'exploitation agricole est contrainte par la modification qu'elle induit dans les flux de biomasse, de main-d'œuvre et de trésorerie entre activités, ainsi que dans la mobilisation de la force de travail animale ou mécanique, avec un impact aussi sur les autres activités de l'exploitation. Par exemple, utiliser des paillis pour protéger le sol contre l'érosion peut se traduire par une baisse de productivité de l'élevage qui dispose de moins de paille utilisable comme fourrage. Ou encore, une modalité agro-écologique d'une activité peut se traduire par des productivités de la terre et du travail plus et moins élevées que la modalité « conventionnelle », respectivement, avec des conséquences sur le revenu des exploitants très variables selon que l'exploitation est contrainte en terre ou en main-d'œuvre. Les hiérarchies multi-attributs ne tiennent en général pas compte explicitement de ces interactions entre activités et leur impact sur le revenu de la ferme, dans les indicateurs économiques qu'elles utilisent.

Il semble exister ainsi en quelque sorte un antagonisme entre l'objectif de rendre l'évaluation de la durabilité maîtrisable par des profanes et les objectifs de robustesse, de cohérence et de rigueur auxquels satisfaire pour qu'une telle évaluation ne soit pas qu'un point de vue (fût-il collectif) parmi d'autres. En effet l'accessibilité de l'évaluation à un public non initié implique d'utiliser des méthodes simples à expliquer et à mettre en œuvre, lesquelles négligent la complexité du problème à traiter et ignorent des interactions-clefs entre éléments du système à évaluer.

Les évaluations de l'agro-écologie

Il n'existe pas aujourd'hui d'évaluation globale et systématique de la durabilité comparée de l'agro-écologie et de l'agriculture dite conventionnelle, qui aurait une portée générale. La principale difficulté susceptible de retarder la publication d'une telle évaluation est de parvenir à un classement consensuel des pratiques agricoles qui appartiendraient à l'agro-écologie et de celles qui appartiendraient à l'agriculture « conventionnelle », parmi les pratiques aujourd'hui observables dans des environnements suffisamment divers à travers la planète.

Cependant, lorsqu'on se concentre sur les agricultures familiales

faiblement capitalisées du Sud, un certain nombre de faits robustes peuvent être établis à partir d'évaluations certes partielles et locales, mais nombreuses, dont nous disposons. C'est notamment le cas pour l'agriculture de conservation, que l'on peut considérer comme un des grands idéotypes de l'agro-écologie, particulièrement adapté, pour ce qui concerne la zone tropicale, aux climats semi-arides à subhumides où dominant des cultures annuelles plutôt que des plantes pérennes.

Prévalence d'enjeux socio-économiques au sein des agricultures familiales du Sud

Notons que les agricultures familiales pauvres et très pauvres de ces climats représentent l'écrasante majorité des agricultures du monde et une part très significative de ses surfaces cultivées (Hyman *et al.*, 2008 ; Dixon *et al.*, 2001). Or même s'il y a de nombreuses exceptions, dans la majorité de ces agricultures, la durabilité sociale et économique n'est pas assurée. En effet, la population qui en dépend pour vivre est le plus souvent sous le seuil de pauvreté et connaît une croissance démographique encore rapide, telle qu'à la prochaine génération, si la valeur de la production n'augmente pas et que le surcroît de population ne trouve pas des moyens de subsistance plus abondants ailleurs que sur le sol exploité par les générations précédentes, et donc notamment dans des emplois non agricoles, la pauvreté s'aggraverait encore.

Concernant la durabilité environnementale, il existe une certaine diversité de recours aux intrants exogènes à l'écosystème local. La culture cotonnière, par exemple, est largement pratiquée par des agriculteurs pauvres d'Afrique, avec un emploi substantiel de pesticides qui constitue une menace à long terme pour l'environnement et la santé des populations. Mais à l'opposé, il existe aussi une majorité de cas où les pratiques des producteurs pourraient être qualifiées d'agro-écologiques, puisque recourant très peu à des intrants exogènes à l'écosystème cultivé, même si c'est faute d'un accès économiquement efficace à ces intrants davantage que par choix (Feintrenie et Affholder, 2014). Ces pratiques sont très intéressantes à évaluer dans leur dimension environnementale, justement car elles mettent souvent en œuvre les leviers agro-écologiques les plus subtils comme l'optimisation des cycles de nutriments par les recyclages *via* les animaux et les transferts entre espèces végétales associées, ou les régulations de bioagresseurs par les rotations et les associations d'espèces

diversifiées. Mais ces agricultures sans intrants peuvent avoir des impacts environnementaux négatifs, typiquement par le biais d'une érosion des sols, particulièrement problématique lorsque la pression démographique conduit à mettre en culture des sols vulnérables.

Performances agronomiques et environnementales de l'agriculture de conservation

Même s'il reste comme on le verra de nombreuses lacunes à combler, on dispose aujourd'hui d'un certain recul sur les performances agronomiques et environnementales de l'agriculture de conservation, vue comme un moyen de concilier productivité et durabilité environnementale élevées, par la manipulation la plus réduite possible du sol, sa protection par des couverts végétaux morts ou vivants, et l'utilisation de rotations et associations d'espèces. Plutôt que de présenter une batterie d'indicateurs et leurs valeurs et intervalles de variation pour ce type d'agriculture comparé aux pratiques actuellement les plus répandues, nous proposons d'en faire, dans ce qui suit, un portrait progressif, partant des processus mis en jeu dans l'écosystème cultivé et aboutissant à un point de vue synthétique sur sa durabilité, en s'appuyant sur des synthèses publiées (Scopel *et al.*, 2013 ; Giller *et al.*, 2011 ; Giller *et al.*, 2009 ; Rusinamhodzi *et al.*, 2011 ; Pittelkow *et al.*, 2015 ; Ranaivoson *et al.*, 2017).

L'agriculture de conservation est efficace à peu près partout pour réduire fortement voire supprimer l'érosion des sols. Elle offre aussi un potentiel pour atteindre des niveaux élevés d'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments et pour réduire la pression de bioagresseurs. Mais ce potentiel est très rarement atteint simultanément pour toutes ces fonctions. Et pour chacune d'entre elles, la réalité de ce que l'on peut obtenir est extrêmement variable selon l'environnement dans lequel on se trouve et les modalités particulières d'agriculture de conservation employées. Par exemple, le fait que la couverture du sol par des paillis de résidus permet d'infiltrer plus d'eau et d'en perdre moins par ruissellement, ne se traduit pas toujours par une réduction des stress hydriques subis par les cultures, mais peut conduire à augmenter le drainage de l'eau sous la zone de sol colonisée par les racines, et de ce fait augmenter les pertes en nutriments entraînés par cette eau. Seule une analyse assez fine de la distribution des précipitations au cours de la saison de culture permet de prédire si les paillis peuvent ou non contribuer à augmenter les rendements par

réduction des stress hydriques (Scopel *et al.*, 2004 ; Bruelle *et al.*, 2017).

De même, les apports de matière organique riche en carbone que constituent ces paillis peuvent provoquer des phénomènes dits de « faim d'azote » où l'azote du sol est mobilisé, au détriment de la culture qui peine à satisfaire ses besoins, par une population microbienne du sol en croissance grâce à cette source de carbone. Mais en général, ces apports de matière organique conduisent à augmenter progressivement les stocks d'azote et de carbone du sol, encore que dans des proportions très variables et pas uniquement dépendantes des quantités de biomasse restituée au sol, mais aussi de la nature de ce dernier (sa teneur en sables et argiles notamment) et du climat (Maltas *et al.*, 2007 ; Corbeels *et al.*, 2018). Le fait même de réduire voire de supprimer les opérations de travail du sol suffit à y favoriser l'activité biologique, et celle-ci est encore stimulée par les restitutions de biomasse (Blanchart *et al.*, 2007). Ce surcroît d'activité biologique par rapport aux techniques de culture « conventionnelles » crée une macroporosité qui contribue à la meilleure infiltration de l'eau (et donc à la réduction de l'érosion).

En revanche, n'ont pas été mis en évidence de manière convaincante, les autres effets favorables souvent attendus de cette activité biologique accrue, tels que l'augmentation de la capacité de stockage en eau du sol, ou les mécanismes de régulation des bioagresseurs du sol, ou encore l'amélioration de la dynamique de la disponibilité des nutriments au cours de la saison. Ce sont même plus souvent des effets néfastes sur la croissance et le rendement des cultures que l'on observe, en tout cas dans une période de quelques années après conversion de parcelles à l'agriculture de conservation, à cause d'une relative prolifération de bioagresseurs trouvant un environnement favorable dans les paillis. Plus spécifiquement, la pression des mauvaises herbes sur la culture est plutôt augmentée lorsque les quantités de paillis employées ne sont pas très élevées (un seuil de l'ordre de 7 t/ha a été identifié par exemple en Asie du Sud-Est). Les associations d'espèces et les rotations ont souvent les avantages attendus en termes de réduction de la pression des bioagresseurs et notamment des adventices, par rapport aux cultures pures ou continues, mais c'est un avantage très ténu dans le cas où l'espèce cultivée est elle-même assez peu sensible aux compétitions avec les mauvaises herbes, comme le maïs et d'autres céréales à paille haute. Pour des espèces plus sensibles, telles que le riz pluvial par exemple, et qui sont souvent cultivées en rotation de manière conventionnelle précisément pour cette

raison, l'avantage de la diversité cultivée *via* les rotations ou associations se paie, en agriculture de conservation, par des difficultés d'implantation de la culture dans les paillis. Les cultures en relais ont fait la preuve de leur capacité à réduire les pertes en nutriments et les pollutions induites par lixiviation. Les transferts d'azote entre légumineuses et plantes non fixatrices d'azote atmosphérique sont attestés, dans les associations et les rotations, avec ou sans agriculture de conservation, mais là aussi il s'agit d'un potentiel dont la réalisation est très incertaine et dont on ne maîtrise pas aujourd'hui la prédiction (voir par exemple Baldé *et al.*, en préparation ; Baldé *et al.*, 2011).

On montre aussi que les associations d'espèces et cultures en relais présentent des risques de compétition entre les espèces cultivées pour l'accès aux ressources, également difficiles à anticiper car résultant d'interactions nombreuses, et dont la réduction demande une grande précision dans la gestion du calendrier des cultures (voir par exemple Silva *et al.*, sous presse), avec souvent des investissements dans des équipements ou la mobilisation d'une grande quantité de main-d'œuvre pour garantir cette précision.

Performances économiques de l'agriculture de conservation

Ce qui précède conduit à repérer un certain nombre d'antagonismes entre critères environnementaux et entre ces derniers et les critères économiques de la durabilité. En effet, lorsqu'on intègre les processus détaillés plus haut, on comprend pourquoi réduire l'érosion *via* l'agriculture de conservation impose dans de nombreux cas de mobiliser un surcroît d'engrais azoté minéral pour réduire les risques de « faim d'azote », si l'on veut maintenir le niveau de rendement et surtout de revenu de la culture par unité de surface. Ce surcroît d'engrais peut représenter un risque de pollution des eaux à comparer à celui de la pollution due à l'érosion, et joue dans l'économie de l'exploitation de manière antagoniste à l'effet de la suppression du travail du sol. Et dans le même registre, la mise en œuvre de l'agriculture de conservation conduit aussi le plus souvent à utiliser un surcroît d'herbicides pour maîtriser les mauvaises herbes, avec cette fois-ci des risques environnementaux plus marqués et un impact économique négatif équivalent. L'alternative consistant à constituer d'épais paillis efficaces contre les mauvaises herbes aurait certes un bilan

environnemental plutôt meilleur mais elle n'est en réalité que très peu pratiquée à cause d'un bilan économique souvent défavorable dès lors que ces biomasses constituent une ressource souvent plus efficacement valorisée par un élevage, au plan économique de court terme, que par les effets favorables qu'elles génèrent à long terme sur la production *via* l'amélioration des stocks de nutriments et la réduction des mauvaises herbes, sans oublier que les produire suppose aussi des équipements et des interventions spécifiques consommatrices de travail (Naudin *et al.*, 2014).

À l'échelle des exploitations agricoles, ces antagonismes entre indicateurs environnementaux et économiques se traduisent en général par un bilan à court terme nettement défavorable à la mise en œuvre de l'agriculture de conservation par les agriculteurs les plus pauvres dont la trésorerie ne permet pas d'accéder aux herbicides ou à l'urée, et pour qui la biomasse est systématiquement valorisée au maximum comme fourrage, combustible ou matériau de construction. C'est la raison essentielle pour laquelle ils ne l'adoptent pas (Affholder *et al.*, 2010 ; Giller *et al.*, 2009), et cela est vrai pour l'agriculture de conservation et pour la plupart des options d'intensification écologique aujourd'hui identifiées (Affholder *et al.*, 2014). Et ce sont aussi ces antagonismes qui conduisent les agriculteurs plus capitalisés (par exemple les grandes exploitations entrepreneuriales du centre du Brésil) à ne mettre en œuvre qu'une partie des principes de l'agriculture de conservation, avec relativement peu de biomasse au sol, des apports élevés de fertilisants minéraux, des rotations à relativement faible diversité de plantes cultivées, et à contrôler les mauvaises herbes à grands renforts d'herbicides (et souvent de maïs ou soja OGM « *roundup ready* »). Ces exploitants obtiennent ainsi un bilan environnemental certes favorable sur l'érosion et aussi sur les émissions de gaz à effets de serre (grâce à la suppression du travail du sol moto-mécanisé), mais *a priori* défavorable tout de même (bien que cela n'ait pas été démontré à notre connaissance) à la qualité des eaux de surface et souterraines, et peut-être à la biodiversité. Ils obtiennent aussi un bilan économique plutôt favorable, mais faiblement, et c'est là encore grâce à la suppression du travail du sol qui génère des économies supérieures aux surcoûts en herbicides et fertilisants, même s'il y a aussi des équipements de semis direct spécifiques à acquérir (Freud, 2005). Enfin socialement, les agriculteurs des exploitations entrepreneuriales du plateau central brésilien — et on retrouve la même chose en France (Goulet et Vinck, 2012) — ont utilisé l'agriculture de conservation pour améliorer leur image auprès du reste de la société, en mettant en avant son caractère agro-écologique. Il est

possible d'ailleurs que cet aspect ait joué un rôle-clef dans l'adoption de ces pratiques par les exploitations entrepreneuriales, en compensant d'une certaine façon la prise de risque que constitue pour les agriculteurs la conversion dans une technique difficile à maîtriser et assez radicalement nouvelle par rapport à leur expertise accumulée.

C'est d'ailleurs sans doute une propriété générale de l'agro-écologie, qu'on retrouve aussi en agroforesterie et qui émerge de toutes les évaluations multicritères rigoureuses disponibles : à partir du moment où on cherche à favoriser des relations de facilitation entre êtres vivants — et c'est l'essence même de l'agro-écologie pour augmenter l'efficacité d'utilisation des ressources de l'écosystème — il semble bien qu'on prenne aussi le risque d'avoir des relations de compétition entre espèces pour l'accès à ces ressources, et que cette compétition s'exerce au détriment des fonctions de production. Tout l'art du pilotage des systèmes de culture agro-écologiques sera précisément d'éviter le « basculement » du système vers des compétitions trop désavantageuses pour la production... et ce basculement est particulièrement délicat à anticiper tant il est sensible à des équilibres dynamiques entre variables en interaction permanente.

Les pistes pour améliorer l'évaluation multicritère

Les connaissances quantitatives sur les systèmes agricoles

Une difficulté conceptuelle de l'évaluation de l'agro-écologie réside dans la nécessité d'évaluer des fonctions des écosystèmes. Pour cela, il est nécessaire soit de modéliser de manière mécaniste les processus, soit d'évaluer directement les résultantes de ces processus en assumant qu'on en néglige le déterminisme. Dans les deux cas, l'évaluation est très complexe.

Malgré les promesses de l'informatique et de la révolution des approches systémiques quantitatives depuis un demi-siècle, nous sommes très loin de disposer de modèles capables de fournir, pour n'importe quel type d'agriculture dans divers contextes, des estimations fiables de toutes les

variables du fonctionnement des écosystèmes cultivés.

À l'échelle des systèmes de culture, disons tout de même que l'on est capable de prédire assez bien la dépendance des rendements des principales cultures au rayonnement, à la température, à la pluviométrie (ou l'irrigation). La prédiction de variations de rendement en fonction de la disponibilité de l'azote dans le sol est déjà plus incertaine, sauf pour les céréales majeures (maïs, blé, riz) et dans le contexte des régions tempérées. Mais les effets des autres nutriments majeurs (phosphore, potassium) sont assez mal prédits quel que soit le contexte climatique. D'une manière générale, il est plus facile de prédire les performances agronomiques et environnementales des agricultures dans un milieu fortement artificialisé par le recours intensif aux intrants exogènes à l'écosystème, que celles des systèmes agro-écologiques dépendantes d'interactions parfois ténues entre êtres vivants. À ce titre, les efforts de modélisation des cultures dans des pays du Sud, souvent agro-écologiques faute d'accès aux intrants, pourraient bien jouer le rôle de pionniers pour modéliser les performances de futurs systèmes agro-écologiques des pays du Nord. En tout cas, les efforts actuels de modélisation à l'échelle des parcelles cultivées portent sur :

- la prédiction à long terme des stocks en azote et carbone des sols en fonction des systèmes de culture, travaux motivés notamment par l'enjeu de séquestrer du carbone dans les sols pour réduire les émissions nettes de gaz à effets de serre ;
- l'estimation des flux de nutriments et de pesticides hors de la zone du sol colonisable par les racines, indicateurs de risques de pollution des eaux ;
- la modélisation des synergies et des compétitions entre les espèces végétales dans les systèmes plurispécifiques (agroforesterie, cultures associées) ou pour prendre en compte l'impact des mauvaises herbes sur les rendements ;
- les relations entre espèces cultivées et bioagresseurs mobiles (insectes, bactéries, champignons, virus...), qui peut imposer de se placer à l'échelle du paysage et s'intéresser à d'autres services écosystémiques tels que les services de régulation (cf. chap. 8, chap. 11).

À l'échelle des exploitations agricoles, on sait construire des modèles capables de prédire les décisions stratégiques (en termes de système de production) des exploitants et ainsi leurs revenus et un grand nombre d'indicateurs économiques et sociaux, lorsque les exploitations sont fortement contraintes par leur environnement biophysique et économique,

comme c'est le plus souvent le cas dans les pays du Sud. Lorsque la marge de manœuvre des producteurs en fonction d'objectifs divers s'élargit, ces modèles sont plus délicats à mettre au point et à calibrer. Le développement de l'économie expérimentale contribue à réduire cette lacune, en proposant notamment des méthodes prometteuses d'identification des objectifs des producteurs (Ward *et al.*, 2016 ; Jaeck et Lifran, 2014 ; Louviere *et al.*, 2015). Mais la fiabilité de ces modèles dépend de toute façon beaucoup de la qualité des données représentant les performances des systèmes de culture et d'élevage, et donc des modèles biophysiques sous-jacents (Affholder *et al.*, 2015).

À l'échelle des territoires, les modèles hydrologiques s'enrichissent de la capacité à prédire les flux de substances dissoutes telles que les pesticides (Mottes *et al.*, 2015). Davantage de l'ordre d'un renouvellement méthodologique, émerge à partir de l'écologie du paysage (Chopin *et al.*, 2015 ; Baudry *et al.*, 1990) une agronomie du paysage qui ambitionne de mieux comprendre et estimer les interactions entre êtres vivants à cette échelle, particulièrement pertinente pour évaluer les impacts de changements des systèmes agricoles sur la biodiversité. Le développement des modèles multi-agents et des outils de modélisation spatiale contribuent à cette évolution et améliorent également notre capacité à prendre en compte l'interdépendance des producteurs et des autres acteurs dans les territoires, et donc à mieux évaluer la dimension sociale de la durabilité (Bousquet *et al.*, 1998).

Enfin, quelle que soit l'échelle considérée, l'exploitation des mégadonnées (*Big data*) ouvre des perspectives nouvelles : l'explosion des données mesurées par des capteurs divers, de leur accessibilité par tous, le développement d'algorithmes d'une puissance inédite pour relier ces données et faire des analyses massivement multivariées suscitent l'espoir de détecter des moyens simples d'estimer des variables à partir d'autres, sans passer par de laborieux nouveaux travaux expérimentaux et le patient cycle d'écriture de modèles et de leur confrontation aux données expérimentales. Une des limites de telles approches est le risque d'obtenir de graves erreurs de prédiction, quand les relations trouvées sont extrapolées en prenant des corrélations détectées entre variables pour des preuves de causalité qu'elles ne sont pas. Force est aussi de constater que les agricultures du Sud fournissent bien moins de mégadonnées que les agricultures du Nord et que ces méthodes comportent des biais très lourds en faveur des phénomènes importants pour les contextes du Nord et qui ne

le seraient pas pour les contextes du Sud.

Une méta-analyse de la durabilité de l'agriculture biologique comparée à celle de l'agriculture conventionnelle (Seufert et Ramankutty, 2017) fournit un exemple de ce risque de biais. Dans cette étude présentée comme mondiale, les systèmes de production agricoles du Sud sont pratiquement absents, d'une part à cause de la faiblesse des données disponibles par rapport au Nord, et d'autre part parce que le marché de l'agriculture biologique y est beaucoup moins important. En effet, même si nombre d'agriculteurs obéissent au cahier des charges de l'agriculture biologique, ce n'est pas du tout par choix mais par absence d'accès à tout intrant exogène à l'écosystème exploité. Il en résulte donc une quasi-absence d'intérêt des producteurs pour faire certifier leurs produits comme issus de l'agriculture biologique. Si ces systèmes de production étaient considérés dans l'analyse, compte tenu des rendements en moyenne très bas qui les caractérisent (Affholder *et al.*, 2013), les conclusions de cette méta-analyse auraient été extrêmement défavorables en moyenne à l'agriculture biologique pour ce qui concerne les dimensions sociales et économiques de la durabilité, alors que les conclusions y sont plutôt favorables sur ce point, avec donc un contraste important entre agriculteurs du Nord et du Sud en termes d'opportunités ouvertes par le cahier des charges de l'agriculture biologique tel qu'il est actuellement défini, qu'il aurait sans doute été intéressant de relever et discuter.

Recherches méthodologiques

La troisième partie de ce chapitre a conduit à identifier comme principal défi méthodologique l'enjeu de concilier rigueur, transparence, robustesse, facilité de mise en œuvre, bref toute une liste de caractéristiques plus ou moins antagonistes et découlant toutes de la nécessaire conciliation d'une reconnaissance de la part subjective de la science avec la recherche d'une objectivité maximale. Ce défi paraît presque banal tant il concerne toute la science contemporaine depuis que les épistémologues du xx^e siècle ont fait tomber le mythe d'une science qui révélerait progressivement une vérité unique du monde, qui existerait indépendamment des hommes et de leurs moyens de l'observer (Chalmers, 1976, 2006). Mais d'abord, cette révolution épistémologique est loin d'être achevée, et l'organisation même de la recherche reste très largement héritée du paradigme antérieur. Et surtout, le défi en question prend une dimension particulière lorsque la

science se veut mobilisable immédiatement pour l'action collective, comme c'est le cas pour l'évaluation multicritère de la durabilité. On assiste ainsi à un certain dynamisme des recherches méthodologiques sur l'évaluation multicritère.

Un des fronts de ces recherches est la comparaison des propriétés mathématiques des outils de la recherche opérationnelle par des analyses de sensibilité, d'incertitude et de robustesse. Cela est plus particulièrement indiqué pour les hiérarchies multi-attributs dont les propriétés posent peut-être davantage problème que pour la programmation mathématique qui fournit par construction des indicateurs de dépendance de ses solutions à chacune des variables considérées.

L'incertitude

L'incertitude est l'erreur maximale qui peut avoir été commise dans l'évaluation des performances et des impacts. Elle est liée au manque de connaissances sur les processus socio-économiques et biophysiques, aux erreurs de mesure des performances et des impacts, et à la variabilité des caractéristiques des systèmes évalués.

L'enjeu est de quantifier l'incertitude, et d'en tenir compte dans les comparaisons entre objets évalués. Les méthodes d'évaluation multicritère ont aujourd'hui tout intérêt à identifier les variables influençant le plus les conclusions de l'évaluation afin de les mesurer plus précisément et d'orienter les efforts de modélisation des disciplines dans le champ desquels se trouvent ces variables. L'analyse de sensibilité des méthodes d'évaluation peut se réaliser en vérifiant leur capacité à discriminer deux systèmes proches. Cependant, les méthodes doivent être également robustes, c'est-à-dire avoir la capacité à rendre des résultats exacts en présence de changements mineurs des conditions de leur mise en œuvre.

La robustesse et la sensibilité

La robustesse peut être contrôlée, par exemple, en vérifiant que les mêmes conclusions sont obtenues, lors de la mise en œuvre de la méthode sur le même système de production, par deux personnes différentes ou à des moments différents de l'année. Les méthode d'évaluation agrégeant

jusqu'au critère « contribution au développement durable » peuvent présenter un manque de sensibilité et discriminer difficilement les systèmes de culture (Craheix *et al.*, 2012). Les concepteurs d'une méthode basée sur une hiérarchie multi-attribut, appelée Masc, ont ainsi mené des analyses de sensibilité et identifié qu'il fallait réduire le nombre de niveaux d'agrégation et équilibrer le nombre de critères dans chaque branche de l'arbre du développement durable considéré dans leur approche.

L'ergonomie et la transparence de ces méthodes pour les acteurs font également l'objet de travaux avec pour objectifs plus spécifiques d'identifier, dans la vaste ramure de cette famille d'outils, les branches les mieux adaptées à l'évaluation « participative » de la durabilité, et de produire des synthèses et des guides facilitant le choix d'un outil par des acteurs en fonction de leurs objectifs et contraintes (Lairez *et al.*, 2015).

L'intégration des dimensions sociales et économiques

Un autre front de recherche majeur est l'intégration des dimensions sociales et économiques dans les approches jusqu'ici centrées sur la seule dimension environnementale (avec par exemple le développement de l'ACV dite « sociale »), et plus généralement l'amélioration de la prise en compte du caractère multidimensionnel de la durabilité.

Dans le cas des agricultures pauvres des pays du Sud, l'enjeu est avant tout de reconnaître la prévalence des dimensions sociales et économiques de la durabilité, à court terme, par rapport aux enjeux environnementaux, de manière à identifier des trajectoires qui n'ajoutent pas simplement au fardeau de la pauvreté une injonction à préserver l'environnement. Le terme de transition agro-écologique, forgé en France et mis en avant par les acteurs publics, est lui-même porteur de ce risque, dans la mesure où il met l'accent sur le seul enjeu environnemental, comparativement au concept de l'intensification écologique (Chevassus au Louis et Griffon, 2008 ; Cassman, 1999) qui contient l'idée de concilier la mise en œuvre des principes de l'agro-écologie avec une augmentation de la production agricole, vue comme à la fois nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire globale et comme opportunité pour sortir de la pauvreté les agricultures des pays du Sud (Tittonell et Giller, 2013 ; Affholder *et al.*, 2014).

Il paraît ainsi nécessaire de créer des outils de conception de politiques agricoles susceptibles de résoudre l'antagonisme entre les dimensions socio-économique et environnementale de la durabilité, par exemple par des subventions à des pratiques, ou à des produits issus de ces pratiques, ou encore à des intrants spécifiques de ces pratiques, ou de manière plus générale peut-être par des paiements pour services environnementaux.

En même temps, si on accepte le principe de telles politiques, on doit se poser la question de politiques de soutien à l'intensification agricole. En effet, pourquoi ne pas envisager de paiement pour le « service social » que constituerait en quelque sorte la sortie de pauvreté de millions de ruraux ? Car si ceux-ci y sont maintenus, ils emprunteront bientôt en nombre encore plus grand qu'aujourd'hui les routes des migrations internationales, avec dans les démocraties riches qu'elles atteignent, des impacts sociaux majeurs allant jusqu'à la régression de certains principes démocratiques. Cette question du soutien au développement agricole a quelque peu été oubliée pendant les quelque 30 ans de la mondialisation libérale, dont la remise en question par les organisations internationales a suivi la crise alimentaire globale de 2007. Mais c'est aussi parce que l'expérience des pays industrialisés conduit à reconnaître les biais considérables des politiques publiques de soutien à l'agriculture en général, qu'il faut proposer des outils nouveaux d'évaluation *ex ante* et *ex post* de ces politiques, sous l'angle de leurs impacts sur la durabilité.

Pour autant, l'enjeu de conception de systèmes à l'échelle de la parcelle cultivée, fondé sur des évaluations multicritères à cette échelle et aux échelles supérieures, demeure un enjeu capital afin de permettre la recherche de techniques correspondant aux compromis les plus acceptables entre les enjeux environnementaux, économiques et sociaux à ces différentes échelles, là où le seul raisonnement sur des « idéotypes de systèmes agro-écologiques », c'est-à-dire des systèmes agro-écologiques idéalisés, conduirait probablement à surestimer le coût de politiques de soutien à l'intensification écologique, et ainsi sans doute à retarder leur mise en œuvre. Or, les exploitations agricoles du Sud sont souvent très diversifiées dans leurs activités car cela les rend robustes face à toutes sortes de risques, et très différentes les unes des autres, car adaptées chacune aux contraintes de leurs environnements biophysiques, tandis que les infrastructures et les politiques de soutien à l'agriculture des pays riches réduisent fortement l'impact de ces contraintes sur les agriculteurs. Cette complexité et cette diversité des systèmes de production des

agricultures pauvres du Sud sont telles que les simples indicateurs de productivité des différentes activités qu'elles pratiquent rendent très mal compte de leur revenu agrégé à l'échelle de l'exploitation, de sa variabilité en fonction des divers aléas, et de sa dépendance à l'évolution de leurs pratiques, notamment vers des techniques agro-écologiques. Cela renforce donc les besoins de modéliser les performances économiques et sociales des exploitations.

De plus, l'agriculture change constamment, au nord comme au sud, tout comme le monde auquel elle appartient. Ces changements peuvent être extrêmement lents mais aussi prendre la forme de véritables révolutions techniques avec un changement radical, en quelques années, de toutes les variables caractéristiques du fonctionnement du système agraire. La « révolution verte » en a été un exemple, et de telles révolutions sont en cours dans beaucoup de pays, émergents notamment, qui ne l'avaient pas connue au cours du xx^e siècle. Comment éviter d'évaluer des prototypes agro-écologiques de systèmes de culture ou d'élevage qui seraient appropriés aux systèmes d'exploitation d'aujourd'hui, mais qui ne seront d'aucune utilité dans un futur proche où ces systèmes d'exploitation auront été remplacés par d'autres ? Comment concevoir rapidement, à partir d'une évaluation *ex ante*, des systèmes de culture agro-écologiques pendant qu'une demande croissante sur un produit agricole conduit les exploitations à adopter rapidement des systèmes intensifs conventionnels, plus efficaces à court terme pour tirer profit économiquement de cette demande émergente, et qu'il sera peut-être plus difficile de faire évoluer ensuite vers des pratiques plus durables ? Des systèmes de culture agro-écologiques longuement mis au point par des équipes de chercheurs dans les montagnes du Vietnam, en tenant compte des contraintes des agricultures de subsistance qui prédominaient dans ces régions au démarrage de l'action de recherche développement, se sont trouvés inadaptés quelques années plus tard après le *boom* économique de ce pays et l'intégration des exploitations à un marché attractif pour les producteurs, modifiant ainsi profondément les systèmes de production (Affholder *et al.*, 2008). De même, au Brésil, des efforts pour proposer des techniques agro-écologiques sur la culture de maïs bien adaptées à des exploitations créées par la réforme agraire (Alary *et al.*, 2016) ont perdu beaucoup d'intérêt après la considérable diminution des surfaces en maïs, dans ces exploitations devenues spécialisées dans la production laitière intensive et recourant au marché de l'aliment pour bétail pour se procurer la ration protéique des animaux.

Articuler l'évaluation de la durabilité avec des démarches prospectives

Comment donc ne pas se retrouver à devoir évaluer des systèmes de culture ou d'élevage d'agriculteurs pauvres qui resteraient pauvres, alors qu'il existe des scénarios plausibles de sortie de pauvreté pour ces agriculteurs, mais qui supposent des systèmes de production complètement différents, et pour lesquels les indicateurs de durabilité à estimer seraient eux aussi complètement différents de ceux applicables aux exploitations actuelles ? Et à l'extrême, l'absence de raisonnement sur la dynamique des systèmes de production, en produisant une vision statique de la durabilité, n'encourage pas vraiment la réflexion des acteurs en faveur de changements radicaux dans les systèmes de production. Autrement dit, à évaluer des systèmes agro-écologiques pour des pauvres qui resteraient pauvres, est-ce qu'on ne risque pas de favoriser des politiques qui en effet, à tout le moins, ratent des opportunités de sortir les exploitations de la pauvreté, et au pire contribuent à les y maintenir ?

Pour éviter ces écueils majeurs, il est nécessaire d'articuler l'évaluation de la durabilité avec des démarches prospectives permettant d'identifier des scénarios possibles d'évolution des systèmes agraires et des systèmes de production. Et il faut pouvoir raisonner le choix des indicateurs, de leurs pondérations, et de leurs méthodes d'agrégation, en tenant compte de ces scénarios d'évolution. Par exemple, pour des exploitations placées dans une pauvreté extrême et n'utilisant pas d'engrais ni de pesticides, les indicateurs relatifs au revenu et à la sécurité alimentaire seront essentiels à l'évaluation de leur durabilité. Mais si, dans une décennie, ces exploitations se sont intégrées à un marché rémunérant efficacement le travail agricole, et utilisent des pesticides, le poids des indicateurs environnementaux dans l'évaluation de la durabilité sera sensiblement plus élevé par rapport aux indicateurs de revenu. Si dans l'environnement où l'on se trouve, on n'a pas entre-temps investi dans l'estimation des flux de pesticides dans le milieu, on devra alors se contenter d'extrapoler des estimations faites ailleurs, sans moyens même de connaître la confiance à accorder à ces estimations et donc sans véritable moyen de savoir si les classifications en termes de durabilité, entre systèmes de production plus ou moins consommateurs de pesticides, sont significatives ou pas. Difficile dans ce cas de convaincre des acteurs de mettre en œuvre telle ou telle technique, au motif qu'elle serait plus durable !

Plus généralement enfin, ce front de recherche méthodologique impose de progresser dans la manière dont les disciplines des sciences biophysiques et sociales collaborent, assument collectivement la part de subjectivité de leurs analyses, et ainsi adhèrent collectivement aux résultats qu'elles produisent. Et contrairement à une idée reçue tenace, cela ne repose pas particulièrement sur davantage de bonne volonté de la part des chercheurs et chercheuses qui n'en manquent généralement pas, mais plutôt sur la mise en œuvre de principes dont certains sont simples et connus depuis très longtemps (par exemple reconnaître que si c'est plus difficile, il faut plus de moyens ; Naiman, 1999) et d'autres plus subtils (assumer des dissymétries entre disciplines dans les relations de pouvoir au sein du groupe de travail ; MacMynowski, 2007), mais la plupart plutôt contraints par les modes actuels d'organisation et surtout d'évaluation de la recherche... pas assez multicritère, ou en tout cas dans lesquels la valeur de l'interdisciplinarité n'est pas suffisamment reconnue !

Références

Affholder F., Jourdain D., Corbeels M., Alary V., Naudin K., Bonnal P., Scopel E., Gerard F., Quirion P., Belhouchette H., 2015. Is "bio-economic" farm modelling of any help for farming system design? *In : Proceedings of the 5th International Symposium for Farming Systems Design* (E.S. Gritti, J. Wery, eds), European Society for Agronomy, Montpellier, 131-132.

Affholder F., Jourdain D., Morize M., Quang D.D., Ricome A., 2008. Eco-intensification dans les montagnes du Vietnam : Contraintes à l'adoption de la culture sur couvertures végétales. *Cahiers agricoles*, 17 (4), 289-296.

Affholder F., Jourdain D., Quang D.D., Tuong T.P., Morize M., Ricome A., 2010. Constraints to farmers' adoption of direct-seeding mulch-based cropping systems: A farm scale modeling approach applied to the mountainous slopes of Vietnam. *Agricultural Systems*, 103 (1), 51-62.

Affholder F., Parrot L., Jagoret P., 2014. Acquis et perspectives de l'intensification écologique. *In : Agricultures familiales et mondes à venir* (J.M. Sourisseau, ed.), éditions Quæ, Versailles, 303-316.

Affholder F., Poeydebat C., Corbeels M., Scopel E., Tittonell P., 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: Assessment and analysis through field surveys and modelling. *Field Crops Research*, 143, 106-118.

Alary V., Corbeels M., Affholder F., Alvarez S., Soria A., Xavier J.H.V., Silva F.A.M.D., Scopel E., 2016. Economic assessment of conservation agriculture options in mixed crop-livestock systems in Brazil using farm modelling. *Agricultural Systems*, 144 (2016), 33-45.

Baldé A.B., Scopel E., Affholder F., Corbeels M., Silva F.A.M.D., Wery J. (en préparation). Application of maize (*Zea mays*)-cover crop relay intercropping systems to small-scale farmers' fields in central Brazil. *Agronomy for Sustainable Development*.

Baldé A.B., Scopel E., Affholder F., Corbeels M., Silva F.A.M.D., Xavier J.H.V., Wery J., 2011. Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smallholder conditions in Central Brazil. *Field Crops Research*, 124 (2), 240-251.

Baudry J., Zonneveld I., Forman R., 1990. *Changing Landscapes: An ecological perspective*, Springer, New York, États-Unis, 280 p.

Belhouchette H., Louhichi K., Therond O., Mouratiadou I., Wery J., Van Ittersum M., Flichman G., 2011. Assessing the impact of the Nitrate Directive on farming systems using a bio-economic modelling chain. *Agricultural Systems*, 104 (2), 135-145.

Berbel J., Rodriguez-Ocaña A., 1998. An MCDM approach to production analysis: An application to irrigated farms in Southern Spain. *European Journal of Operational Research*, 107 (1), 108-118.

Bessou C., Rival A., Levang P., Feintrenie L., Bosc P.-M., Cheyns E., Djama M., Wohlfahrt J., Marichal R., Roda J.-M., Caliman J.-P., Pacheco P., 2017. Sustainable palm oil production project synthesis: Understanding and anticipating global challenges. *Bogor. Infobrief*, 164, 8.

Blanchart E., Bernoux M., Sarda X., Siqueira Neto M., Cerri C.C., Piccolo M.D.C., Douzet J.-M., Scopel E., 2007. Effect of direct seeding mulch-based systems on soil carbon storage and macrofauna in Central Brazil. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72 (1), 81-87.

Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C., 1998. Cormas: Common-pool resources and multi-agent systems. In : *Lecture Notes in Computer Science. LNAI. Lecture Notes in Artificial Intelligence*, International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, Springer, Berlin, Allemagne, 826-837.

Bruelle G., Affholder F., Abrell T., Ripoche A., Dusserre J., Naudin K., Tiftonell P., Rabeharisoa L., Scopel E., 2017. Can conservation agriculture improve crop water availability in an erratic tropical climate producing water stress? A simple model applied to upland rice in Madagascar. *Agricultural Water Management*.

Capra F., 1996. *The Web of Life: A new scientific understanding of living systems*, Anchor Books, New York, États-Unis, 368 p

Capra F., 2002. *The Hidden Connections: Integrating the biological cognitive, and social dimensions of life into a science of sustainability*, Doubleday, New York, États-Unis, 300 p.

Capra F., Luisi P.L., 2014. *The Systems View of Life: A unifying vision*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 510 p

Cassman K.G., 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *National Academy of Sciences Colloquium*, 96 (11), 5952-5959.

Chalmers A.F., 1976, 2006. *Qu'est-ce que la science ? La Découverte*, Paris, 286 p.

Chevassus au Louis B., Griffon M., 2008. La nouvelle modernité : Une agriculture productive à haute valeur écologique. *Déméter : Économie et stratégies agricoles*, 14, 7-48.

Chopin P., Blazy J.-M., Doré T., 2015. A new method to assess farming system evolution at the landscape scale. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (1), 325-337.

Corbeels M., Cardinael R., Naudin K., Guibert H., Torquebiau E., 2018. The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*, 11 p.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2012. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations agronomiques*, 20, 35-48.

Diesendorf M., 2000. Sustainability and sustainable development. *In : Sustainability: The corporate challenge of the 21st century*, 19-37 (D. Dunphy, J. Benveniste, A. Griffiths, P. Sutton, eds), Allen, Unwin, Sydney, Australie.

Dixon J.A., Gibbon D.P., Gulliver A., 2001. *Farming Systems and Poverty: Improving farmers' livelihoods in a changing world*, FAO et World Bank, Rome et Washington DC, Italie et États-Unis, 49 p.

Elkington J., 1997. *Cannibals with Forks: The triple bottom line of 21st century business*, Capstone Publishing, Oxford, Royaume-Uni, 424 p.

Feintrenie L., Affholder F., 2014. Contribuer aux systèmes écologiques et sociaux. *In : Agricultures familiales et mondes à venir* (J.-M. Sourisseau, ed.), éditions Quæ, Versailles, 97-110.

Flinn J.C., Jayasuriya S., Knight C.G., 1980. Incorporating multiple objectives in planning models of low-resource farmers. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 24 (1), 35-45.

Freud C., 2005. *Évaluation de l'impact économique des systèmes de culture sur couvert végétal (SCV) au Brésil et à Madagascar*, Cirad, Montpellier, 55 p.

Gibson R., 2006. Beyond the pillars: Sustainability assessment as a framework for effective integration of social, economic and ecological considerations in significant decision-making. *J Environ Assess Pol Manage*, 8 (3), 259-280.

Giller K.E., Corbeels M., Nyamangara J., Triomphe B., Affholder F., Scopel E., Tittonell P., 2011. A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems. *Field Crops Research*, 124 (3), 468-472.

Giller K.E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P., 2009. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field*

Crops Research, 114 (1), 23-34.

Goulet F., Vinck D., 2012. Innovation through subtraction: Contribution to a sociology of “detachment”. *Revue française de sociologie*, 53 (2), 195-224.

Hyman G., Fujisaka S., Jones P., Wood S., de Vicente M.C., Dixon J., 2008. Strategic approaches to targeting technology generation: Assessing the coincidence of poverty and drought-prone crop production. *Agricultural Systems*, 98 (1), 50-61.

Jaeck M., Lifran R., 2014. Farmers’ preferences for production practices: A choice experiment study in the Rhone river delta. *Agricultural Economics*, 65 (1), 112-130.

Lairez J., Feschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I., eds, 2015. *Agriculture et développement durable : Guide pour l'évaluation multicritère*, Educagri/Quæ. Dijon/Versailles, 232 p.

Louviere J.J., Flynn T.N., Marley A.A.J., 2015. *Best-Worst Scaling: Theory, methods and applications*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, 360 p.

Lozano Vita J., Jacquet F., Thoyer S., 2017. Choix de pratiques des viticulteurs et facteurs comportementaux : Une approche par la modélisation multi-objectif. In : *11^{es} Journées de recherches en sciences sociales (JRSS)*, Lyon, France.

Macary F., 2013. Évaluation des risques de contamination des eaux de surface sur des bassins versants agricoles : Approches multiscalaires par modélisation spatiale et analyse multicritère pour l'aide à la décision, thèse de doctorat en Sciences de l'environnement (Hydrologie, hydrochimie, sol, environnement), vol. Ph.D., 277, Université de Toulouse – INPT, Toulouse.

MacMynowski D.P., 2007. Pausing at the brink of interdisciplinarity: Power and knowledge at the meeting of social and biophysical science. *Ecology and Society*, 12 (1), 14.

Maltas A., Corbeels M., Scopel E., Oliver R., Douzet J.M., Macena da Silva F.A., Wery J., 2007. Long-term effects of continuous direct seeding

mulch-based cropping systems on soil nitrogen supply in the Cerrado region of Brazil. *Plant and Soil*, 298, 161-173.

Mottes C., Lesueur-Jannoyer M., Charlier J.-B., Carles C., Guéné M., Bail M.L., Malézieux E., 2015. Hydrological and pesticide transfer modeling in a tropical volcanic watershed with the WATPPASS model. *Journal of Hydrology*, 529 (3), 909-927.

Naiman R.J., 1999. A perspective on interdisciplinary science. *Ecosystems*, 2 (4), 292-295.

Naudin K., Bruelle G., Salgado P., Penot E., Scopel E., Lubbers M., de Ridder N., Giller K.E., 2014. Trade-offs around the use of biomass for livestock feed and soil cover in dairy farms in the Alaotra lake region of Madagascar. *Agricultural Systems*, 134, 36-47.

Pittelkow C.M., Liang X., Linquist B.A., Van Groenigen K.J., Lee J., Lundy M.E., Van Gestel N., Six J., Venterea R.T., Van Kessel C., 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517, 365-368.

Ranaivoson L., Naudin K., Ripoche A., Affholder F., Rabeharisoa L., Corbeels M., 2017. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 26.

Rusinamhodzi L., Corbeels M., Van Wijk M.T., Rufino M.C., Nyamangara J., Giller K.E., 2011. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31 (4), 657-673.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2008. *Ex ante* assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28 (1), 163-174.

Sartori S., Latrônico Da Silva F., Campos L., 2014. Sustainability and sustainable development: A taxonomy in the field of literature. *Ambiente and Sociedade*, 17 (1), 1-20.

Scopel E., Macena da Silva F.A., Corbeels M., Affholder F., Maraun F.,

2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie*, 24, 383-395.

Scopel E., Triomphe B., Affholder F., Macena da Silva F.A., Corbeels M., Xavier J.H.V., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., Mendes I.D.C., Tourdonnet S.D., 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33 (1), 113-130.

Seufert V., Ramankutty N., 2017. Many shades of gray: The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances*, 3 (3), e1602638.

Silva-Casteneda L., Cheyns E., Pierre-Marie A., sous presse. Missing the forest for the maps? Conflicting valuations of the forest and cultivable lands. *Land Use Policy*.

Silva F.A.M.D., Naudin K., Corbeels M., Scopel E., Affholder F., en préparation. Impacts of the no-till system on water balance and production of maize grain and biomass in the Brazilian Cerrado.

Thiry G., Cassiers I., 2010. Alternative indicators to GDP: Values behind numbers. Adjusted Net Savings in question, Université catholique de Louvain, Louvain, Belgique.

Tittonell P., Giller K.E., 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research*, 143, 76-90.

Ward P.S., Bell A.R., Parkhurst G.M., Droppelmann K., Mapemba L., 2016. Heterogeneous preferences and the effects of incentives in promoting conservation agriculture in Malawi. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 222, 67-79.

WCED, 1987. *Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development*, Oxford University Press, New York, États-Unis, 300 p.

Agro-écologie et changement climatique : des liens intimes et porteurs d'espoir

*Emmanuel Torquebiau, Philippe Roudier, Julien Demenois,
Stéphane Saj, Étienne Hainzelin, Florent Maraux*

L'agriculture est sans doute l'une des activités humaines les plus dépendantes du climat. Tout agriculteur se doit de surveiller le ciel et tenir compte des conditions météorologiques (pluviométrie, température, vent, etc.). Dans sa version industrielle devenue la quasi-règle dans les pays développés, l'agriculture a cependant tenté de s'affranchir de cette dépendance. Au lieu de s'adapter aux contraintes environnementales et climatiques et à leur variabilité, cette agriculture d'économies d'échelle cherche souvent à modifier l'environnement, par exemple en irriguant, en uniformisant la topographie, en augmentant la taille des parcelles et réduisant l'hétérogénéité paysagère, en faisant en sorte que des variétés à haut rendement sélectionnées pour un environnement standard trouvent à tout prix des conditions optimales de croissance. Face à cette démarche faisant l'hypothèse qu'il est toujours possible de contrôler les conditions de croissance des cultures, le changement climatique est apparu ces dernières années comme un facteur nouveau.

Les relations entre agriculture et changement climatique

Les exemples d'impact du changement climatique sur l'agriculture abondent : saisonnalité irrégulière, précipitations décalées dans le temps ou réparties différemment, événements extrêmes, températures modifiant les dates des récoltes, bioagresseurs plus actifs, etc. Les impacts sont variés et joueront aussi bien sur les rendements (Roudier *et al.*, 2011) que sur la qualité nutritive des produits de récolte. Myers *et al.* (2014) prévoient ainsi pour le blé et le riz une baisse significative de la teneur en protéines, en zinc et en fer, due à une augmentation de la concentration en carbone atmosphérique. Dans les pays du Sud, l'impact du changement climatique sur le secteur agricole est particulièrement important, en raison de la forte

dépendance de l'agriculture de ces pays à l'environnement (par exemple, l'immense majorité des surfaces agricoles africaines sont non irriguées), ce qui la rend plus vulnérable, et parce que les conditions économiques ne permettent pas de mettre en place des schémas d'agriculture intensive. Dans leurs contributions déterminées au niveau national (NDC, *Nationally Determined Contributions*) et présentées par l'ensemble des pays de la planète lors de l'accord de Paris en 2015 (COP 21), tous les pays d'Afrique subsaharienne citent le secteur agricole parmi les options retenues pour l'adaptation au changement climatique.

Le secteur agricole ne fait pas que subir les impacts du changement climatique. Il est également un émetteur massif, responsable d'environ 12 % des émissions anthropiques de gaz à effet de serre, et de 24 % si l'on inclut les émissions liées aux changements d'utilisation des terres, c'est-à-dire essentiellement la déforestation tropicale (IPCC, 2014). Mais on s'efforce désormais de comprendre comment l'agriculture (et l'utilisation des terres au sens large, y compris la foresterie) peut être l'une des solutions au changement climatique grâce au potentiel de séquestration du carbone dans les sols et la végétation et grâce à la diminution possible des émissions agricoles par la modification d'un certain nombre de pratiques comme l'usage massif d'engrais de synthèse. Il convient néanmoins de distinguer l'augmentation du stock de carbone organique dans le sol de sa séquestration, cette dernière correspondant uniquement à un retrait de gaz carbonique de l'atmosphère (Chenu *et al.*, 2018). Le concept d'agriculture « climato-intelligente » (*climate-smart agriculture*) tente de prendre en compte le fait que l'agriculture peut être un facteur aggravant du changement climatique, mais qui parallèlement en subit fortement les conséquences, en posant pour conditions de répondre simultanément à trois enjeux :

- être adaptée au changement climatique (fonction parfois assimilée, par abus de langage, à la résilience alors que celle-ci est un concept plus large qui inclut aussi la réduction du risque) ;
- l'atténuer ;
- assurer la sécurité alimentaire selon les principes de la durabilité.

Des analyses récentes ont montré la complémentarité qui existe entre l'agro-écologie et l'agriculture climato-intelligente, et notamment que celle-ci aurait tout à gagner à intégrer les concepts de l'agro-écologie (Saj *et al.*, 2017).

L'agro-écologie, une solution intégrée associant l'adaptation au changement climatique et son atténuation

Les principes de l'agro-écologie

L'agro-écologie dans sa dimension biophysique s'appuie sur des principes de diversité, d'utilisation efficiente des ressources naturelles, de recyclage des nutriments, de régulation naturelle et de synergie entre les composantes d'agroécosystèmes qui sont le plus souvent plurispécifiques. Ces principes permettent de contribuer à la mise en œuvre de pratiques agricoles adaptées au changement climatique et ayant une bonne résilience. Parmi les multiples définitions du concept de résilience, on l'appréhende ici comme la capacité d'un système à faire face à une série de chocs et de stress, dans un contexte dynamique et incertain.

La résilience est caractérisée par trois capacités de ce système :

- absorption et récupération ;
- préparation ;
- transformation.

La diversité des pratiques de l'agro-écologie permet de renforcer chacune de ces trois capacités et ainsi d'améliorer la résilience aux futurs changements climatiques. Par exemple, les techniques de conservation de l'eau permettent aux cultures de mieux faire face à un déficit pluviométrique imprévu (absorption) ; la diversité variétale à disposition de l'agriculteur lui permet de choisir avant la saison culturale quelles seront les variétés optimales à planter (en anticipant les variations à moyen terme) ; la diversité des variétés et des cultures et leur couplage avec l'élevage donnent à un agrosystème une capacité de transformation qui lui permet de survivre aux grands changements de long terme tels que ceux modélisés par les scénarios du changement climatique. La figure 13.1 illustre comment les variétés traditionnelles de mil et de sorgho seraient moins impactées par un scénario d'augmentation de la température de + 4 °C que certaines variétés améliorées (Roudier, 2012). L'agro-écologie est une option crédible pour améliorer l'adaptation et la résilience de l'agriculture face au changement climatique par les caractéristiques qu'elle intègre : la diversification des cultures et des parcelles, l'hétérogénéité

paysagère, l'utilisation de la biodiversité et de l'agrobiodiversité (la diversité des plantes et animaux utiles), la diminution des intrants émetteurs de gaz à effet de serre, la lutte biologique contre les ravageurs, les symbioses et interactions diverses (rhizobiums, mycorhizes, *push-pull*[47]), etc.

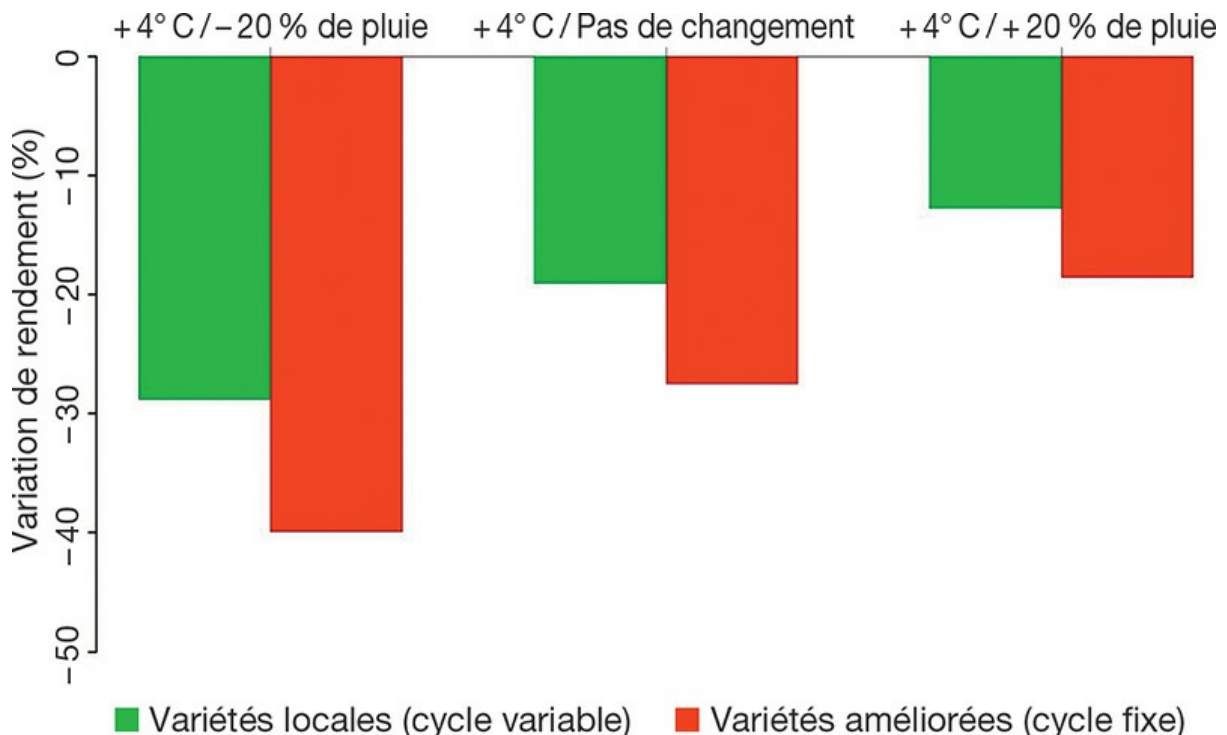


Figure 13.1. Variations moyennes de rendement du mil et du sorgho en Afrique de l'Ouest (35 stations) pour les variétés locales et les variétés améliorées sous trois scénarios de changement climatique futur (variations par rapport à la période 1961-1990). Ces résultats sont des modélisations issues du modèle Sarra-H (pour la méthodologie, voir Roudier, 2012).

Le risque climatique

Le risque climatique résulte d'une combinaison entre aléa et vulnérabilité (Gilard, 2015). La vulnérabilité aux changements climatiques est fonction de l'exposition à des aléas dont la probabilité peut varier, ainsi que de la sensibilité et de la capacité d'adaptation des sociétés concernées. Si l'adaptation peut réduire la sensibilité aux changements climatiques, c'est l'atténuation qui peut réduire l'aléa, c'est-à-dire l'exposition à ces changements, à ceci près que l'adaptation se joue localement, tandis que l'atténuation ne joue qu'à l'échelle globale, ses effets agissant dans l'atmosphère partagée par tous. Grâce à ses propriétés avérées en termes

d'amélioration de l'adaptation, l'agro-écologie peut donc avoir un effet modérateur du risque climatique et de la vulnérabilité. Réduire la vulnérabilité par des innovations agro-écologiques individuelles ou collectives se révélera souvent plus efficace et sans doute moins coûteux que de réduire l'aléa par des interventions techniques lourdes. Face à une vulnérabilité pluviométrique annoncée, la diversification spatiale et temporelle de cultures raisonnée à l'échelle du paysage peut par exemple être plus opérante que la construction de grandes structures d'irrigation.

L'atténuation du changement climatique

L'atténuation du changement climatique par la réduction des émissions de gaz à effet de serre ou par la séquestration du carbone ne fait pas explicitement partie des objectifs initiaux de l'agro-écologie. Même si l'on peut faire l'hypothèse que dans bien des cas, l'agro-écologie permet une augmentation de la séquestration et une diminution des émissions du fait de la réduction de l'usage des intrants de synthèse, la comparaison quantitative précise entre l'agriculture conventionnelle et l'agro-écologie dans ce domaine reste encore à faire. Alors qu'il n'y a pas de prescriptions réglementaires ni de certification officielle pour l'agro-écologie, ses caractéristiques contribuent néanmoins à l'atténuation du changement climatique, par exemple en augmentant la biomasse totale des parcelles cultivées, en assurant une couverture du sol tout au long de l'année, en favorisant l'accumulation de matière organique (et donc de carbone) dans le sol. De nombreux cas présentant les potentiels simultanés de l'agro-écologie pour l'adaptation au changement climatique et son atténuation ont été décrits (par exemple, Altieri *et al.*, 2015, 2017 ; Paustian *et al.*, 1998), par exemple en agroforesterie (photo 13.1), dans les pratiques de cultures associées (photo 13.2) ou dans l'hétérogénéité à grande échelle entretenue dans les paysages multifonctionnels (photo 13.3). Ce constat a permis de dire que si l'agriculture climato-intelligente n'est pas nécessairement agro-écologique, l'agro-écologie, elle, est nécessairement climato-intelligente (Tittonell, 2015).



Photo 13.1. Agroforêt à cacaoyers et fruitiers, Ghana. © E. Torquebiau / Cirad.



Photo 13.2. Cultures associées (maïs et haricots), Kenya. © E. Torquebiau / Cirad.



Photo 13.3. Paysage multifonctionnel (*land sharing*) avec rizières, haies, fruitiers, habitations et agroforêt, Sumatra, Indonésie. © E. Torquebiau / Cirad.

La séquestration de carbone dans le sol est le processus qui contribue le plus à la fonction d'atténuation du changement climatique par l'agro-écologie. Cette fonction a été formalisée par une initiative récente connue sous le nom de « 4 pour 1 000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat » (4p1000, 2018 ; Soussana *et al.*, 2018) dont le triple objectif est :

- atténuer le changement climatique ;
- adapter l'agriculture aux dérèglements climatiques ;
- faire progresser la sécurité alimentaire.

Les sols agricoles et forestiers contiennent deux à trois fois plus de carbone que l'atmosphère, notamment sous forme de matière organique. Ainsi, une augmentation du stock de carbone organique des horizons superficiels des sols à un taux annuel de 4 pour 1 000, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre issues de la déforestation et de la dégradation des forêts, permettrait de compenser les émissions annuelles anthropiques de gaz à effet de serre. Cet objectif est techniquement faisable (Soussana *et al.*, 2018) et sans regret à prévoir car l'augmentation de la teneur en carbone organique des sols permet aussi d'accroître la fertilité des sols, d'atténuer leur sensibilité à l'érosion et d'augmenter leur

capacité de rétention en eau. Des cas de séquestration du carbone en zone tropicale à des taux égaux ou supérieurs à 4 pour 1 000 par an ont été décrits par exemple en utilisant du compost ou en incorporant les résidus de culture dans le sol (Kenne *et al.*, 2016), en agroforesterie (D'Andouss Kissi *et al.*, 2013) ou en agriculture de conservation (Corbeels *et al.*, 2018).

Rétroactions agro-écologiques positives

La démarche la plus porteuse en ce qui concerne la réponse de l'agro-écologie aux enjeux du changement climatique consiste donc à rechercher les systèmes qui favorisent la simultanéité entre adaptation et atténuation. On parle parfois de co-bénéfices atténuation/adaptation, de synergie, ou mieux, de *feedback* (rétroaction) positif entre adaptation et atténuation. Un *feedback* positif de l'adaptation sur l'atténuation peut par exemple se produire lorsque des pratiques innovantes conçues pour améliorer la fertilité du sol conduisent à une augmentation de la matière organique du sol et donc à une diminution des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) en raison d'un usage réduit d'engrais de synthèse. Cet effet se confirme par exemple dans le cas de caféiers agroforestiers : même si l'on y trouve plus d'azote que dans une caféière de plein soleil (et donc potentiellement plus d'émissions de N₂O), le bilan carbone total est meilleur dans le cas de l'agroforesterie (Hergoualc'h *et al.*, 2012). De façon similaire, un *feedback* positif de l'atténuation sur l'adaptation peut se produire lorsqu'un objectif d'augmentation de la séquestration du carbone du sol se traduit par des avantages en termes de propriétés du sol et une meilleure résilience au stress, avec des conséquences positives sur la production agricole.

L'agroforesterie fournit de nombreux exemples de rétroactions agro-écologiques positives, tels que celui connu sous le nom de « reverdissement du Sahel » au Niger (photo 13.4). La pratique se base sur la régénération naturelle assistée des arbres des champs, méthode ancienne qui tendait à disparaître mais que des politiques publiques innovantes (le transfert de l'État aux agriculteurs des droits de propriété des arbres) ont permis de relancer (Sendzimir *et al.*, 2011). La densité des arbres a fortement augmenté, améliorant la fertilité du sol et le microclimat (adaptation), favorisant la biomasse aérienne et souterraine et donc le stockage du carbone (atténuation), l'ensemble ayant un impact positif sur les revenus des agriculteurs et la sécurité alimentaire. Autre exemple

agroforestier, l'ombrage des plants de cacaoyers ou de caféiers par des arbres, qui permet de pallier les pertes dues à une éventuelle augmentation de la température. L'agriculture du Sud fournit ainsi des exemples convaincants pouvant être étendus à toute la planète.



Photo 13.4. Association agroforestière de maïs et *Faidherbia albida*, Dolékaha, Côte d'Ivoire. © Dominique Louppe / Cirad.

De nombreuses autres options agro-écologiques peuvent favoriser la synergie adaptation-atténuation : agriculture de conservation, cultures associées, engrais organiques, gestion améliorée des pâturages, gestion de l'eau, non-labour, couverture permanente du sol, etc. Même l'élevage, souvent accusé d'émettre de grandes quantités de gaz à effet de serre, peut, selon les modalités d'utilisation des pâturages, contribuer à cet équilibre entre adaptation et atténuation. Au Sénégal, l'étude de l'élevage extensif à l'échelle territoriale, une pratique particulièrement adaptée aux conditions locales, montre que sur un pas de temps annuel, les émissions de gaz à effet de serre et la séquestration du carbone s'équilibrent (Vayssières *et al.*, 2017).

C'est en effet à une échelle dépassant la parcelle, voire l'exploitation, que de nombreuses approches peuvent se prévaloir de favoriser la synergie entre adaptation et atténuation. Dans les paysages multifonctionnels

(Torquebiau, 2015 ; Denier *et al.*, 2015), il est possible d'intégrer des objectifs de production agricole ou forestière et des objectifs de protection de la nature et de la biodiversité. Ce concept connu sous le nom de *land sharing* (partage de la terre ; Grau *et al.*, 2013) permet d'assigner des objectifs d'adaptation ou d'atténuation à des unités paysagères voisines, souvent en interaction. Il s'oppose au *land sparing* (épargne de la terre) où production et protection de la nature sont séparées. Le *land sparing* est corollaire de la révolution verte et de la fameuse « hypothèse de Borlaug » : maximiser la production dans les zones agricoles avec des variétés productives, l'irrigation et les apports d'intrants afin de protéger la nature ailleurs. L'expansion continue des terres agricoles aux dépens de la nature a montré que cette hypothèse n'est pas vérifiée. À l'opposé, le *land sharing* est essentiellement agro-écologique et permet de favoriser des paysages « climato-compatibles » (*climate-smart landscapes* ; Harvey *et al.*, 2014 ; Torquebiau, 2017).

Encadré 13.1. L'agrobiodiversité : un bien commun pour augmenter la résilience au changement climatique

E. Torquebiau, P. Roudier, J. Demenois, S. Saj, É. Hainzelin, F. Maraux

La biodiversité des écosystèmes cultivés (et utile à l'homme, y compris dans les milieux naturels) constitue ce que l'on appelle l'agrobiodiversité. C'est le fondement de notre agriculture mais nous l'avons un peu oublié et l'agriculture contemporaine repose sur un nombre trop limité d'espèces et de variétés au sein de ces espèces. C'est pourtant un levier essentiel de l'agro-écologie (Hainzelin, 2013) car c'est sur la base de cette diversité (génétique, spécifique, paysagère) qu'il est possible de concevoir de nouveaux systèmes agricoles plus résilients face aux aléas environnementaux et climatiques. C'est grâce à des démarches innovantes de sélection et à des pratiques agricoles diversifiées et reposant sur une large gamme d'espèces et d'interactions entre espèces qu'il sera possible de répondre au déplacement de zones climatiques et agro-écologiques, à l'apparition de nouveaux bioagresseurs, aux événements climatiques extrêmes de plus en plus nombreux. Ce sont des systèmes agricoles riches en biodiversité et en biomasse qui permettront de favoriser la contribution de l'agriculture et de la foresterie à l'atténuation du changement climatique par la séquestration du carbone. C'est une agriculture « pérenne » (Perfecto *et al.*, 2009) qu'il faut pour cela encourager, fondée sur l'utilisation de ligneux, de plantes de couverture, de racines et de tubercules ou de graminées pérennes. Ces pratiques, qui sont historiquement employées pour répondre aux aléas

climatiques existants (choix de la variété en fonction des prévisions par exemple), sont aujourd'hui mises à mal dans plusieurs régions par la baisse de la diversité des variétés disponibles aux agriculteurs (Maikhuri *et al.*, 1997) mais également par l'apparition de brevets pour les semences alors que celles-ci étaient au préalable gérées comme un bien public (Brush, 2005).

Perspectives et limites

Bien que l'agro-écologie soit un concept qui date déjà de plusieurs décennies (Wezel et Soldat, 2009), il n'est répandu que dans le cas de certaines agricultures traditionnelles et il n'est pas encore diffusé à grande échelle. On peut le regretter mais espérer aussi que les contraintes du changement climatique sont une forme d'opportunité (au bon sens du terme) pour accélérer cette diffusion. Il est vraisemblable qu'un manque de soutien de la part des institutions officielles d'enseignement et de recherche explique en partie ce retard. L'agro-écologie a été et reste souvent de nos jours absente de l'enseignement agricole. On doit sans doute incriminer aussi l'absence de référence à l'agro-écologie dans la majorité des politiques publiques. La prise en compte (tardive) de l'agriculture par les instances officielles de la convention-cadre des Nations unies sur les Changements climatiques (UNFCCC) depuis la COP 23 (novembre 2017) va-t-elle changer les orientations ? Sachant que l'agro-écologie fait aussi les grandes lignes de certaines politiques de développement depuis quelques temps (par exemple à la FAO lors du *Symposium Agroecology for Food Security and Nutrition* ; FAO, 2015 ; Symposium FAO, 2018), on peut conjecturer un renforcement réciproque des thématiques de l'agro-écologie et du changement climatique.

Reste à assurer un « passage à l'échelle » de ces liens potentiellement intimes entre agro-écologie et changement climatique. Des besoins importants de sensibilisation des agriculteurs des pays du Nord comme du Sud au fait que l'agro-écologie peut être une réponse aux contraintes du changement climatique sont nécessaires. Mais comment aller au-delà des expériences réussies ici ou là et faire passer ce message scientifique au plus grand nombre lorsque les politiques publiques nationales ignorent l'agro-écologie, voire la contredisent à coups de subventions ou d'incitations diverses à l'agriculture industrielle ? Comment sensibiliser à ces techniques innovantes lorsque les personnels des services d'appui technique aux agriculteurs sont eux-mêmes formés à l'agriculture

conventionnelle ? Si l'on peut désormais, notamment grâce aux travaux récents sur le carbone du sol (Soussana *et al.*, 2018), envisager de faire jouer à l'agriculture un rôle contributif de solution au changement climatique, il est probable que les changements qui n'incluent pas une meilleure prise en compte des principes de l'agro-écologie ne permettront pas à l'agriculture de jouer ce rôle.

Il ne faut pas ignorer non plus que l'agro-écologie va contre les intérêts d'acteurs puissants (par exemple des fournisseurs d'intrants) et que donc la mobilisation d'une volonté politique n'est pas acquise d'avance. La transition vers l'agro-écologie, même si elle peut concerner tous les types de structures agricoles, est particulièrement bien adaptée aux petites exploitations. En effet, reposant sur la diversification des productions et sur des régulations biologiques issues de l'écosystème, les systèmes de cultures agro-écologiques sont par construction peu exigeants en capital, et présentent une durabilité agro-environnementale et socio-économique forte. De telles analyses permettent de nourrir de futurs plaidoyers essentiels à la formulation de politiques publiques, au Nord comme au Sud. Enfin, l'agro-écologie est fondamentalement liée au contexte local et son application à grande échelle dépend de la vivacité des systèmes locaux d'innovation, non seulement au niveau des pratiques agricoles mais aussi des chaînes de valeur (filières) et des nouveaux liens entre les zones urbaines et rurales. Cela pose un énorme défi de formation et de compétences et redessine le rôle que doit jouer la recherche.

Grâce à sa double action sur le climat, l'agro-écologie peut enfin aider à mettre en place les contributions déterminées au niveau national (NDC, *Nationally Determined Contributions*) présentées par l'ensemble des pays de la planète lors de l'accord de Paris en 2015 (COP 21) et qui doivent être revues à la hausse d'ici 2020. Globalement, 89 % des pays se réfèrent dans leur contribution au secteur agricole et à l'usage des sols au sens large (LULUCF, *Land Use, Land Use Change and Forestry*). Plus spécifiquement, 78 % des pays incluent l'agriculture dans leurs options d'atténuation et 100 % des pays d'Afrique subsaharienne la citent parmi les options d'adaptation (FAO, 2016). L'agro-écologie n'est malheureusement que rarement citée explicitement (Rwanda, Honduras) mais certaines de ses composantes le sont, par exemple : gestion conservatoire de l'eau, pastoralisme amélioré, pisciculture agro-écologique, approche paysage, corridors biologiques, pratiques agricoles à « bas carbone », etc. L'agro-écologie peut donc être une trajectoire à

suivre permettant de mettre en place des objectifs climatiques nationaux.

Références

4 per 1000, 2018. The 4 per 1000 Initiative. Soils for Food Security and Climate, <http://4p1000.org> ☐.

Altieri M.A., Nicholls C.I., 2017. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140 (1), 33-45.

Altieri M.A., Nicholls C.I., Henao A., Lana M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (3), 869-890.

Brush S.B., 2005. Protecting traditional agricultural knowledge in wash, U.J.L., Pol'y 59, http://openscholarship.wustl.edu/law_journal_law_policy/vol17/iss1/5 ☐ (consulté le 17/09/2018).

Chenu C., Angers D.A., Barré P., Derrien D., Arrouays D., Balesdent J., 2018. Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research*, <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011> ☐.

Corbeels M., Naudin K., Guibert H., Torquebiau E., Cardinael R., 2018. The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*, <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.015> ☐.

D'Andous Kissi O., Guibert H., Palou Madi O., Ntoupka M., Deleporte P., Smektala G., Peltier R., 2013. Le bois, un atout pour la diffusion des plantations d'acacias gommiers au nord du Cameroun. *Revue forestière française*, 3, 241-253.

Denier L., Sherr S., Shames S., Chatterton P., Hovani L., Stam N., 2015. *Le Petit Livre des paysages durables*, Global Canopy Programme, Oxford, Royaume-Uni, 98 p.

FAO, 2015. *Proceedings of the International Symposium on Agroecology*


for Food Security and Nutrition, 18-19 septembre 2014, FAO, Rome, Italie, 426 p.

FAO, 2016. The Agriculture sectors in the intended nationally determined contributions: Summary, Environment and natural resources management working, paper # 61.

Gilard O., 2015. Aléa, vulnérabilité et risque. In : *Changement climatique et agricultures du monde* (E. Torquebiau, ed.), éditions Quæ, 27-36.

Grau R., Kuemmerle T., Macchi L., 2013. Beyond “land sparing versus land sharing”: Environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation. *Curr Opin Environ Sustain*, 5, 477-483.

Hainzelin E., ed., 2013. *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*, Cirad/Quæ, Versailles, 264 p.

Harvey C.A., Chacón M., Donatti C.I., Garen E., Hannah L., Andrade A., Bede L., Brown D., Calle A., Chara J., Clement Ch., Gray E., Minh H.H., Minang P., Rodriguez A.M., Seeberg-Elverfeldt Ch., Semroc B., Shames S., Smukler S., Somarriba E., Torquebiau E., Van Etten J., Wollenberg E., 2014. Climate-smart landscapes: Opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conservation Letters*, 7 (2), 77-90, <https://doi.org/10.1111/conl.12066> .

Hergoualc'h K., Blanchart E., Skiba U., Hénault C., Harmand J.M., 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 148, 102-110.

IPCC, 2014. Summary for Policymakers. In : *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, contribution of Working Group III to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, J.C. Minx, eds), Cambridge University Press, Cambridge / New York, Royaume-Uni / États-Unis, 33 p.

Kenne Kueteyim P., Guibert H., Kouassi Bredoumy S., 2016. Organic

amendments do not reverse the decay of stock of carbon of tropical soils after setting the crops: Experiments in Ivory Coast and Benin, Conference EcoSummit, 29 août - 1^{er} septembre 2016, Montpellier, France, Elsevier, Amsterdam, Pays-Bas, 1 p.

Maikhuri R.K., Semwal R.L., Rao K.S., Nautiyal S., Saxena K.G., 1997. Eroding traditional crop diversity imperils the sustainability of agricultural systems in Central Himalaya. *Current Science*, 73 (9), 777-782.


Myers S., Zanolatti A., Kloog I., Huybers P., Leakey A.D.B., Bloom A.J., Carlisle E., Dietterich L.H., Fitzgerald G., Hasegawa T., Holbrook N.M., Nelson R.L., Ottman M.J., Raboy V., Sakai H., Sartor K.A., Schwartz J., Seneweera S., Tausz M., Usui Y., 2014. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510, 139-142


Paustian K., Cole C.V., Sauerbeck D., Sampson N., 1998. CO₂ mitigation by agriculture: An overview. *Climatic Change*, 40 (1), 135-162.

Perfecto I., Vandermeer J.H., Wright A.L., 2009. *Nature's Matrix: Linking agriculture, conservation and food sovereignty*, Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 242 p.

Roudier P., 2012. Climat et agriculture en Afrique de l'Ouest : Quantification de l'impact du changement climatique sur les rendements et évaluation de l'utilité des prévisions saisonnières, PhD Thesis, EHESS, Paris, 189 p.

Roudier P., Sultan B., Quirion P., Berg A., 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environ Change*, 21, 1073-1083.

Saj S., Torquebiau E., Hainzelin E., Pagès J., Maraux F., 2017. The way forward: An agroecological perspective for Climate-Smart Agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 250, 20-24, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.003> 

Sendzimir J., Reij C.P., Magnuszewski P., 2011. Rebuilding resilience in the Sahel: Regreening in the Maradi and Zinder regions of Niger. *Ecol Soc*, 16 (3), 1, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04198-160301> 

Soussana J.F., Lutfalla S., Ehrhardt F., Rosenstock T., Lamanna Ch.,

Havlík P., Richards M., Wollenberg E., Chotte J.L., Torquebiau E., Ciaia Ph., Smith P., Lal R., 2018. Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000 - soils for food security and climate' initiative. *Soil & Tillage Research*, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.002> ☐.

Tittonell P., 2015. Agroecology is climate-smart... (but the opposite is not necessarily true), extrait de la *Global Science Conference on Climate-Smart Agriculture*, Montpellier, mars 2015, <http://csa2015.cirad.fr/presentations> ☐ (consulté le 17/09/2018).

Torquebiau E., 2015. Whither landscapes? Compiling requirements of the landscape approach. In: *Climate-smart landscapes: Multifunctionality in practice* (P. Minang et al., eds), World Agroforestry Centre (ICRAF), Nairobi, Kenya, 21-36.

Torquebiau E., 2017. *Climate-smart agriculture* : Pour une agriculture climato-compatible. *Cahiers agricultures*, 26 (6), 66001.

Vayssières J., Assouma M.H., Lecomte Ph., Hiernaux P., Bourgoïn J., Jankowski F., Corniaux C., Vigne M., Torquebiau E., Ickowicz A., 2017. L'élevage au cœur de paysages « climato-intelligents » en Afrique de l'Ouest. In : *Des territoires vivants pour transformer le monde* (P. Caron, T. Wassenaar, G. Coppens d'Eeckenbrugge, V. Papazian, eds), éditions Quæ, 114-120.

Wezel A., Soldat V., 2009. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 7, 3-18.

CHAPITRE 14

L'écologisation de l'agriculture au prisme de l'innovation collaborative

*Aurélie Toillier, Prosper Kola, Syndhia Mathé, Sygnola Tsafack,
Der Dabire, Bernard Triomphe*

Dans le secteur de l'agriculture, les appels à l'innovation collaborative se sont multipliés (Von Hippel, 2005 ; Swaans *et al.*, 2014 ; Temple, 2017 ; Toillier *et al.*, 2018a) avec la prise de conscience du large éventail d'acteurs qui interagissent et contribuent à l'innovation : PME, sociétés de services, institutions, acteurs publics ou encore société civile à travers les ONG.

L'innovation collaborative peut se définir comme la création d'innovations au-delà des frontières des organisations et à travers le partage d'idées, de connaissances, d'expertise, de ressources et d'opportunités (Demil et Lecoq, 2012 ; Ketchen *et al.*, 2007). C'est une façon de faire émerger, initier ou créer des projets d'innovation conjoints, qui met l'accent sur les relations inter-organisationnelles et les capacités d'une diversité d'organisations et d'individus à progresser ensemble, en dehors de leur cadre de travail habituel.

Elle résonne avec acuité lorsque l'on s'intéresse aux façons d'accompagner l'écologisation de l'agriculture. En effet, il a été établi de longue date que l'engagement dans la transition agro-écologique ne saurait être une aventure individuelle, tant elle requiert partage de ressources, de savoirs, d'expériences, d'espaces, et met en jeu des externalités à des échelles qui dépassent le cadre de l'exploitation agricole et du système de production (Whiteside, 1998 ; Uphoff, 2002 ; Oborn *et al.*, 2017 ; Meynard, 2017). Par ailleurs, s'il y a bien une aspiration commune à de multiples organisations pour trouver de nouvelles façons de produire en mobilisant davantage les mécanismes naturels, en respectant mieux l'environnement et en répondant aux critères de durabilité en général, c'est dans des dispositifs locaux multi-acteurs que des solutions sont trouvées (Van Mierlo *et al.*, 2017). En l'absence de solutions universelles, Weltin *et al.* (2018) confirment que, dans toutes les régions du monde, les praticiens ont identifié le besoin de co-concevoir des solutions et des actions communes pour mettre en œuvre des stratégies d'intensification écologique appropriées au contexte régional et aux écosystèmes locaux. Dans chaque cas, il est nécessaire de mobiliser des acteurs avec des perspectives différentes, d'hybrider des savoirs de natures différentes (scientifiques, experts, praticiens) et d'ancrer localement la conception et la mise en œuvre des innovations (Warner, 2008).

Pour enclencher et organiser ces dynamiques d'innovation collaborative, des dispositifs d'appui tels que les plateformes d'innovation ou les réseaux

facilités[48] sont de plus en plus mobilisés (Van Mierlo *et al.*, 2017 ; Beers et Geerling-Eiff, 2014). Cependant, dans le contexte des pays en voie de développement où les systèmes d'innovation sont encore très cloisonnés et où les moyens alloués à la transition agro-écologique sont faibles (voir chap. 10), la mise en œuvre de ces dispositifs d'appui soulève de véritables défis méthodologiques pour les praticiens de l'accompagnement. Ceux-ci doivent à la fois faire évoluer les pratiques des individus vers des formes de travail collaborative auxquelles ils n'ont jamais été formés et catalyser des relations entre de multiples organisations qui ne sont pas toujours convaincues de l'intérêt de travailler ensemble. Il s'agit notamment de les aider à s'accorder sur des objectifs communs et à produire des résultats utiles à l'innovation quand elles sont généralement incitées à valoriser leurs propres productions et être compétitives pour obtenir des financements.

Comment les dispositifs déployés actuellement au sud permettent-ils d'enclencher des dynamiques d'innovation collaborative utiles à la transition agro-écologique ? Quelles difficultés sont rencontrées et comment peut-on y remédier ?

Ce chapitre éclaire ces questions. La première partie justifie l'intérêt d'étudier l'écologisation de l'agriculture sous l'angle de l'innovation collaborative et de ses paradoxes. La seconde partie illustre une diversité de dispositifs collaboratifs mobilisés aux différents niveaux où s'organise la transition agro-écologique. Les différentes formes organisationnelles mobilisées et la façon dont elles contribuent à surmonter certains paradoxes de l'innovation collaborative pour faire progresser les acteurs sont illustrées à partir d'exemples en Afrique, au Burkina Faso et au Cameroun. La conclusion dresse une perspective de recherche pour des travaux futurs.

L'innovation collaborative comme façon d'impulser l'écologisation de l'agriculture

Une bulle créative au sein de réseaux socio-techniques

Le concept d'innovation collaborative étend celui de « l'innovation

ouverte », axé sur la capacité d'une organisation à s'ouvrir aux autres pour innover, à coopérer, partager des technologies et des droits de propriété intellectuelle au sein d'un secteur donné et dans un but lucratif (Chesbrough, 2006 ; Gassmann *et al.*, 2006). En s'intéressant plus largement aux communautés d'innovation et à leurs modes de collaboration, Gläser (2001) montre que la motivation économique n'est pas toujours déterminante. Il s'agit d'association volontaire d'acteurs, n'ayant pas nécessairement d'affiliation organisationnelle commune mais unis par un objectif partagé, de création, d'adaptation, d'adoption ou de diffusion d'une innovation.

Dans les mouvements d'écologisation de l'agriculture, ce sont différents types d'acteurs qui vont jouer des rôles-clefs à des moments donnés, pour enclencher une trajectoire de changement technologique ou institutionnel en s'accordant ponctuellement avec d'autres acteurs. Genus et Coles (2008) parlent de réalignement des réseaux dans la tradition de la théorie de l'acteur-réseau. Garud *et al.* (2002) ont montré que généralement ces acteurs du changement sont « distribués, partisans et intégrés » dans les trajectoires technologiques et institutionnelles. D'une part, ils participent en fonction de leurs intérêts propres. D'autre part, des solutions vont émerger à travers des ajustements mutuels partisans qui exigeront un engagement des acteurs dans la voie qu'ils auront contribué à faire émerger. Dans les pays en voie de développement, les acteurs engagés dans l'innovation agro-écologique sont encore peu divers et peu nombreux, ce qui réduit encore plus le champ des possibles. Ils sont principalement issus de la sphère publique et de la société civile, intervenant selon des logiques de projets financés par la coopération internationale ou l'aide publique. Généralement leurs rapports sont historiquement campés et teintent leurs interactions de prédictibilité, conduisant davantage à des choix consensuels et des innovations incrémentales que de véritables révolutions dans les modèles d'agriculture.

Les dispositifs d'appui à l'innovation collaborative visent à extraire les individus de leur cadre de travail habituel pour les projeter dans une autre dimension, avec d'autres métriques, en particulier de nouvelles métriques de temps. Blandin *et al.* (2016) parlent de « bulle créative », dans laquelle on cherche à accélérer voire à « précipiter » les processus relationnels et cognitifs entre les personnes. Il s'agit de gagner du temps, en identifiant rapidement une multitude de nouvelles idées, des porteurs de solutions, ou des arrangements inter-organisationnels pour faciliter l'émergence de

solutions inédites ou la valorisation d'opportunités de changement.

Collaborer pour résoudre des problèmes

L'intensification écologique nécessite de mobiliser davantage les mécanismes naturels, ceux décrits par l'écologie, voire de les amplifier jusqu'à devenir presque exclusifs (ou dominants) en termes de pratiques agricoles, et ce au bénéfice de la production alimentaire et des autres besoins de la société (Griffon, 2013). L'agriculture écologiquement intensive vise donc *a minima* à maintenir le même rendement agricole que le modèle conventionnel avec notamment une diminution des intrants artificiels chimiques. De multiples défis sont à relever aux niveaux des exploitations agricoles, des territoires et du système agro-alimentaire dans son ensemble (Meynard, 2017). On peut distinguer des problèmes simples, compliqués ou complexes qui vont appeler des mécanismes d'innovation et de collaboration différents (Toillier *et al.*, 2018a). Ces problèmes de nature différente exigent des changements d'ordres différents. Waddell (2011) distingue trois types de changement : le changement incrémental, la réforme, la transformation (tab. 14.1), le dernier étant le plus difficile à atteindre. Par ailleurs, il peut exister un emboîtement ou un enchaînement de problèmes simples et complexes. Par exemple, le problème, *a priori* simple, de l'accès des producteurs à des semences améliorées — abordé dans le cas de la plateforme d'innovation de Mbalmayo au Cameroun (Mathé *et al.*, 2018) ou de la plateforme banane plantain en Côte-d'Ivoire (Angbo-Kouakou *et al.*, 2017) — soulève tôt ou tard des problèmes complexes de gouvernance dans le secteur semencier qui appelleront un changement d'ordre systémique ou transformationnel, et donc feront appel à de nouvelles formes de collaboration pour les résoudre.

Tableau 14.1. Types de changements qui se jouent dans les dispositifs d'innovation collaborative (adapté de Waddell, 2011 ; et de Snowden et Boone, 2007).

Problème posé	Simple	Compliqué	Complexe
Type de changement	Incrémental Améliorer les performances	Réforme Changer les manières d'interagir des parties d'un système	Transformation Créer des possibilités jusqu'alors insoupçonnées, imaginer des choses qui ne sont

		systeme	
Exemples	Développer des filières qui valorisent des produits issus de l'intensification écologique	Créer de nouvelles règles d'usage des ressources à l'échelle d'un territoire villageois	Introduire et promouvoir l'agriculture biologique certifiée dans un pays
Modalités de résolution des problèmes	Changer les façons d'agir et de se comporter	Changer les façons de penser	Changer les façons de percevoir son environnement
Questions-clefs	Comment pouvons-nous faire plus ou mieux de la même chose ?	Quelles règles devons-nous créer ?	Comment pouvons-nous donner un sens à tout cela ?
Boucle d'apprentissage	Simple boucle	Double boucle	Triple boucle
Quand cela se produit ?	Pour des problèmes courants, prévisibles	Lorsque l'on arrive à formuler les problèmes et non les solutions	Lorsque l'on n'arrive à formuler ni les problèmes ni les solutions
Qui participe ?	Les acteurs qui formulent le problème	Les acteurs du système concerné	Les acteurs qui contribuent à rendre intelligible le système dans ses différentes dimensions
Rapport de l'individu au collectif	Le collectif explique le rôle des individus pour que chacun agisse sur le problème	L'individu ne se sent pas responsable et considère que ce sont les autres qui créent le problème	Le collectif fait face ensemble au problème et se considère partie prenante du problème et de la solution
Implications	Peut s'appuyer sur les structures hiérarchiques existantes pour	Nécessite la production de beaucoup de connaissances car les relations de cause à effet	Tente beaucoup d'expériences, génère beaucoup de <i>feedbacks</i> afin de choisir des

pour les dispositifs collaboratifs	organiser l'action collective (comme une chaîne de valeur) Peut utiliser un cadre logique	ne sont pas évidentes Planification rigoureuse, types d'expertise multiples, cadre logique peu adapté	stratégies qui marchent, l'apprentissage se fait dans les échecs successifs Planification orientée-changement
Exemples de dispositifs d'innovation collaborative	Plateformes d'innovation multi-service guidée par les acteurs des filières Par ex., plateforme de Mbalmayo au Cameroun (Mathé <i>et al.</i> , 2016)	Plateformes d'innovation guidée par la recherche utilisant la recherche-action en partenariat (RAP) Par ex., plateforme Abaco au Burkina Faso (Dabire <i>et al.</i> , 2017)	Réseau facilité Par ex., réseau CNABio au Burkina Faso (Toillier <i>et al.</i> , 2017)
Mécanismes de financement	Financement externe court terme (projet)	Financement externe long terme (programme)	Financement interne (autofinancement)

Les paradoxes à surmonter

L'organisation et l'innovation semblent être deux logiques contradictoires mais indissociables, puisque la première consiste à réduire l'incertitude, et la seconde à en tirer parti. Un dispositif d'innovation collaborative doit pouvoir prendre en charge la résolution d'un ensemble de paradoxes propres à l'innovation, qui sont regroupés en trois grandes familles (Blandin *et al.*, 2016).

Immédiateté/temps long. L'innovation a vocation à transformer fortement les pratiques. Cette transformation prend du temps, particulièrement dans des contextes de transition agro-écologique ; différents horizons de temporalité sont à intégrer au-delà de la durée

d'existence du dispositif collaboratif.

Individu/collectif. Le paradigme de la participation dans le monde du développement agricole a poussé à la prise en compte systématique de toutes les parties prenantes dans les dispositifs d'appui à l'innovation, sans pour autant en préciser suffisamment les modalités (Schut *et al.*, 2015, ou TAP, 2016). Les travaux sur la créativité montrent que le collectif en innovation, ce n'est pas seulement une collection d'individus mais qu'un management particulier est nécessaire pour que le collectif apporte réellement quelque chose de supplémentaire aux individualités et aux idées des individus. D'une part, les dynamiques d'apprentissage individuel sont indissociables de la nature de la relation entretenue avec le collectif (Hatchuel 1999) ; d'autre part, la composition même du collectif influence la capacité d'innovation du groupe (Janssen *et al.*, 2004).

Divergence/convergence. De nombreux dispositifs ont tendance à se dérouler en deux grandes phases. C'est le cas par exemple d'une méthodologie participative (Duru *et al.*, 2015) destinée à favoriser la transition agro-écologique dans les territoires : d'abord on recherche et on identifie des problèmes perçus par les différents acteurs (divergence), puis on intègre et on évalue des solutions optimales (convergence). Dans les faits, ces activités ne peuvent être séparées mais progressent en parallèle : c'est un cycle d'élaboration-évaluation continu qui permet de décider, d'enrichir une proposition ou de redéfinir une idée. Toute la difficulté est de gérer de front l'élaboration et l'évaluation.

Les facteurs de réussite

Trois grands facteurs de réussite de l'innovation collaborative sont connus : la mise en place de mécanismes de coordination et de protocoles d'interaction entre les différents acteurs, la construction d'une vision commune et la mobilisation des ressources nécessaires à l'action.

Les mécanismes de coordination, en réduisant l'incertitude et les comportements opportunistes, sont essentiels au sein de réseaux d'innovation (Dhanaraj et Parkhe, 2006). En effet, ces formes organisationnelles sont particulièrement propices à l'échange d'informations et à la transmission de savoir-faire, ce qui risque de favoriser les comportements opportunistes (Goerzen, 2007). En outre, le caractère souvent tacite du savoir et le faible degré de prévisibilité des

résultats engendrent une incertitude élevée. Les modes de coordination doivent permettre de créer une confiance inter-organisationnelle, de proposer des mécanismes de gestion des conflits ainsi que des garanties sur l'usage des résultats qui seront produits (Gardet, 2009).

Le protocole d'interaction consiste à la fois à sélectionner les individus qui vont collaborer et à organiser les séquences de travail. Amin et Roberts (2008) montrent que l'efficacité d'un dispositif collaboratif dépend beaucoup de la nature des acteurs en présence, une fois la nature du problème identifiée et les mécanismes de coordination choisis. En contexte faible, c'est-à-dire lorsque les individus présents n'ont pas eu au préalable de relations de travail entre eux, la concrétisation des idées et propositions faites au cours des moments d'interaction va être plus difficile qu'en contexte fort (lorsque les individus présents ont l'habitude de travailler ensemble avec succès), mais cette difficulté peut être surmontée par une sélection précise des individus en présence, au regard de la complémentarité de leurs compétences et de leurs motivations à voir la résolution du problème. Si la sélection est faible, comme c'est très souvent le cas dans les ateliers participatifs réalisés dans les projets de développement (vient qui peut en fonction de sa disponibilité ou en fonction d'une décision hiérarchique avec des critères définis ailleurs), alors le risque que le dispositif se révèle infructueux est plus grand, sauf si ces individus appartiennent à des organisations déjà engagées dans une communauté innovante et en capacité de dépasser les limites liées aux individualités. L'organisation des séquences de travail consiste ensuite à alterner des phases collectives et individuelles, en offrant des espaces et des temps d'expérimentation, de collaboration et de confrontation. Ces alternances sont à la base des apprentissages collectifs.

La question du temps rejoint celle de la stratégie et du sens commun. Seule la mise en cohérence et l'alignement entre les ambitions, la stratégie, l'organisation et les méthodes de travail sur la durée, permettent de surmonter les paradoxes du temps. Les cas d'innovation collaborative réussis font état d'une motivation collective à relever des défis communs au-delà des enjeux individuels. Weick (2001) parle de « fabrique de sens » (*sense making*). Il s'agit de pouvoir identifier les problèmes ensemble et de leur donner un sens commun. Cela nécessite la création d'espaces d'échange communs pour co-construire une vision partagée.

Pour permettre l'action collective, des ressources spécifiques humaines,

matérielles et financières doivent pouvoir être mobilisées. En particulier, la sélection des individus et des organisations joue un rôle très important : différentes compétences sont requises, à la fois des experts-contenu (capables d'aider à mettre au point l'innovation-produit) et des experts-processus (capables d'aider à organiser les processus socio-cognitif pour la conception de l'innovation). En effet, l'orchestration de l'action collective nécessite des facilitateurs qui coordonnent les interactions entre les acteurs, facilitent les discussions, favorisent la diffusion d'information et la communication, et jouent le rôle de traducteur ou de « passeurs de frontière ». Ce rôle est crucial pour le bon fonctionnement d'une plateforme d'innovation et demande des compétences spécifiques que ces facilitateurs doivent avoir dès le début du processus (Klerkx *et al.*, 2008 ; Steyaert *et al.*, 2017).

La figure 14.1 récapitule la combinaison des facteurs à prendre en compte pour comprendre la portée, les mécanismes et les bénéfices des dispositifs d'innovation collaborative.

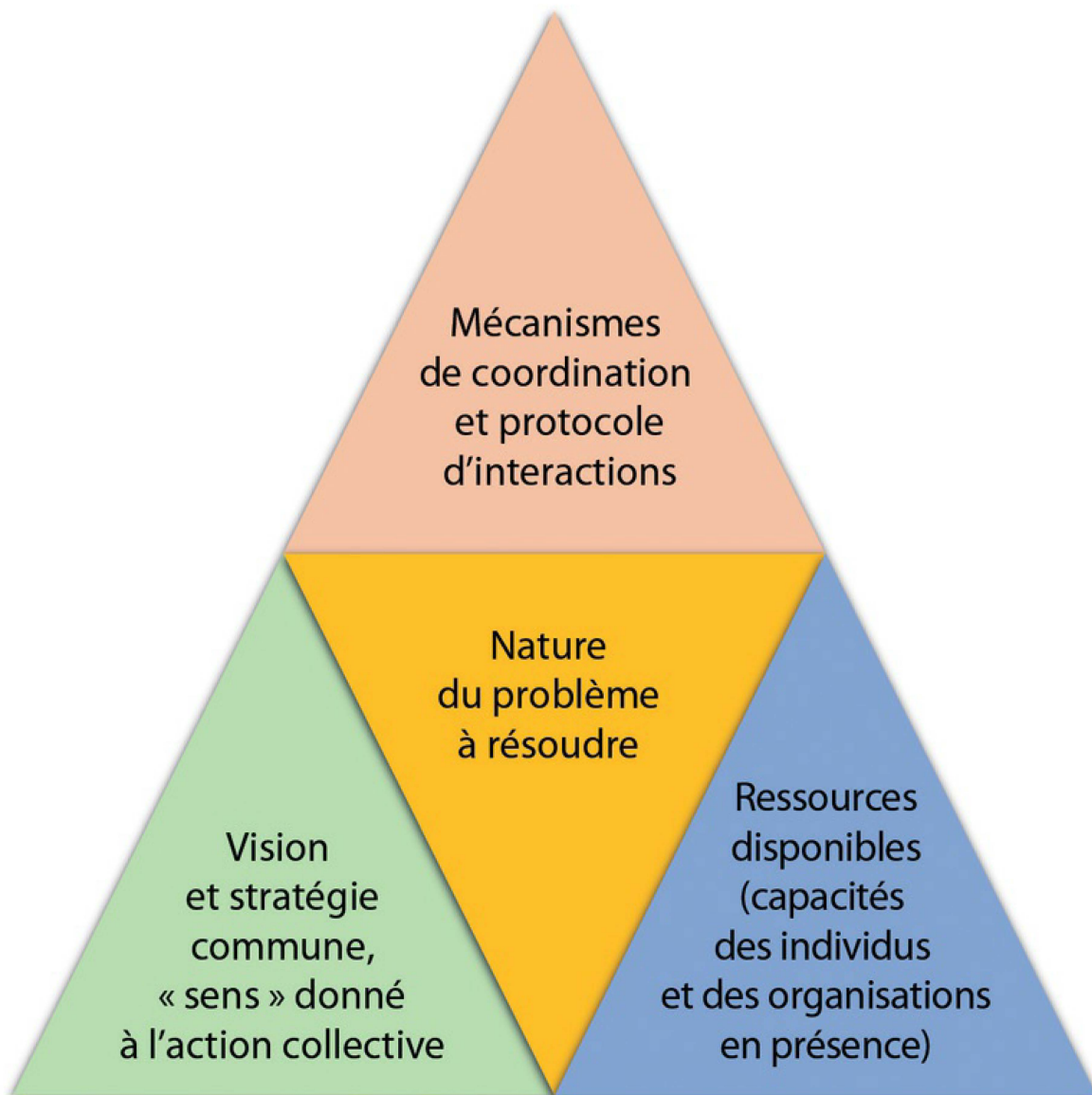


Figure 14.1. Facteurs de réussite de l'innovation collaborative.

Les écarts entre promesses et résultats

À la lumière des facteurs de réussite de dispositifs d'innovation collaborative, nous proposons d'explorer comment les dispositifs déployés actuellement au sud permettent d'enclencher des dynamiques d'innovation collaborative utiles à la transition agro-écologique.

Sélection de cas d'étude

Pour discriminer les dispositifs collaboratifs existants en appui à la

transition agro-écologique dans les pays du Sud, nous avons retenu deux critères liés aux capacités des individus et des organisations en présence (cf. fig. 14.1) : le degré de constitution de la communauté d'innovation qui est mobilisée dans le dispositif collaboratif (contexte fort ou faible) et le degré de sélection des individus qui participent au dispositif (sélection forte ou faible au regard des compétences, connaissances ou capacités individuelles) (fig. 14.2).

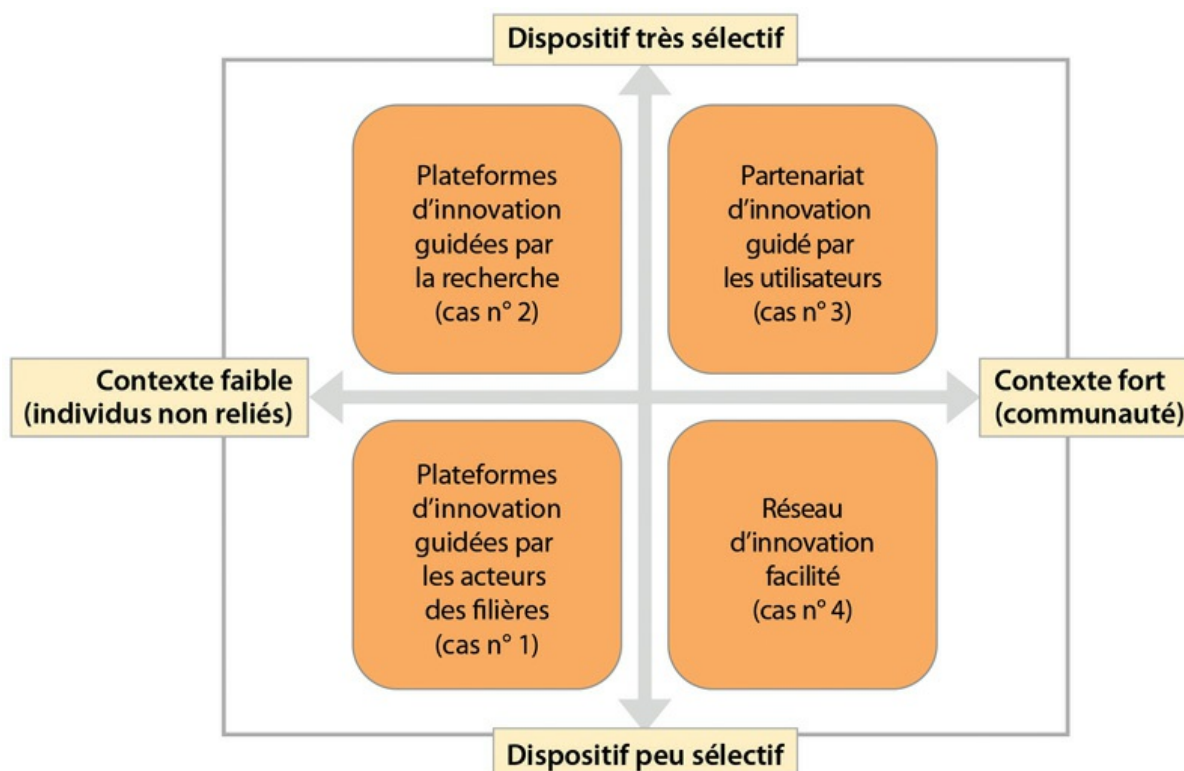


Figure 14.2. Exemples de dispositifs d'innovation collaborative en fonction des capacités des acteurs en présence : degré de relations inter-organisationnelles et degré de sélection des individus.

À partir d'un ensemble de cas d'étude auxquels le Cirad a contribué, quatre cas ont été sélectionnés (fig. 14.2. et tab. 14.2) pour illustrer une diversité de configurations initiales des dispositifs selon les critères retenus, à savoir les capacités des acteurs en présence (contexte et sélection). Cette étude qualitative à visée exploratoire a pour objectif de mettre en lumière les processus à travers lesquels les dispositifs collaboratifs tiennent leurs promesses. Les analyses présentées ici se fondent sur des travaux publiés qui font état de la portée, des mécanismes et des résultats issus de la mise en œuvre de chacun des quatre dispositifs.

Tableau 14.2. Exemples de dispositif collaboratifs pour l'intensification

écologique appuyés par le Cirad au Cameroun et au Burkina Faso.

	Visée de l'innovation	Exemples de dispositifs d'innovation collaborative	Objectifs assignés au dispositif (« promesses »)	Acteurs impliqués
	Concevoir et développer de nouveaux systèmes de production			
Cas n° 1	Appuyer des formes d'intensification durable en utilisant l'approche chaîne de valeur	Plateforme d'innovation multiservice guidée par les acteurs de filières : plateforme de Mbalmayo, Cameroun (Mathé <i>et al.</i> , 2018)	Identifier des solutions techniques locales mais généralisables pour optimiser la diversification des cultures et répondre aux besoins d'amélioration de la fertilité des sols	Agriculteurs Commerçants Chercheurs Conseillers agricoles
Cas n° 2	Développer l'agriculture de conservation à l'échelle d'un village	Dispositifs de recherche-action en partenariat pilotés par la recherche : plateformes villageoises du projet Abaco, Burkina Faso (Dabire <i>et al.</i> , 2017)	Construire des références techniques adaptées aux conditions locales Faire évoluer les règles de gouvernance de ressources communes (les résidus de culture) au niveau villageois pour pouvoir mieux les valoriser	Agriculteurs Chercheurs Autorités villageoises traditionnelles Autorités administratives Conseillers agricoles ONG d'appui au développement Commerçants Fournisseurs d'intrants Banques Artisans, transformateurs
	Concevoir et développer de nouveaux services d'appui aux transformations dans les exploitations agricoles familiales			
	Modifier les			Organisation de producteurs

Cas n° 3	approches d'accompagnement utilisées par l'organisation de producteurs auprès de ses membres pour faciliter l'intensification écologique	Partenariat d'innovation guidé par les utilisateurs UGCPA, Burkina Faso (Toillier et Girard, 2015)	Concevoir une démarche originale de communication sur la politique agro-environnementale de l'UGCPA	(UGCPA) Chercheur (Cirad) Agence de communication (Jade production) ONG facilitatrice (Farm)
Développer des innovations couplées entre agriculture-alimentation				
Cas n° 4	Introduire et développer l'agriculture biologique	Réseau facilité CNABio, Burkina Faso (Toillier <i>et al.</i> , 2017)	Développer la première norme burkinabè de l'agriculture biologique Créer le premier label bio burkinabè Créer un réseau de fermes biologiques Développer et organiser des services supports aux fermes bio Développer des filières bio	Agriculteurs Commerçants Organismes d'appui-conseil (ONG, conseillers agricoles) Entreprises de bio-intrants Chercheurs Acteurs politiques

CNABio : Conseil national de l'agriculture biologique ; UGCPA-BM : Union des groupements pour la commercialisation des produits agricoles de la Boucle du Mouhoun.

Leçons tirées des quatre dispositifs

Nous illustrons ici à partir de quatre exemples la façon dont l'innovation collaborative a été organisée, et les causes fonctionnelles des écarts entre promesses et résultats obtenus. La synthèse des cas analysés est présentée dans le tableau 14.3.

Un dispositif peu sélectif en contexte faible

Dans le cadre d'un programme de recherche sur l'intensification durable de l'agriculture appelé *Humidtropics*, trois plateformes d'innovation ont été mises en place à un niveau local, dont celle de Mbalmayo dans la région Centre du Cameroun (Mathé *et al.*, 2018). L'objectif était l'optimisation de la diversification des cultures dans la région Centre Cameroun en s'appuyant sur la mise en place d'un système agroforestier pour faciliter l'intensification durable. Il s'agissait de former les agriculteurs à la fois à des techniques de multiplication des arbres locaux, de production de semences de maïs, de légumes, d'installation de pépinières et de parcelles d'expérimentation, et de les accompagner dans la mise en place de systèmes de production plus intégrés.

L'ensemble des plateformes locales était connecté à une plateforme nationale dont le rôle était de les coordonner et d'identifier des « méta-problèmes » — c'est-à-dire des problèmes qui se vérifient à une échelle nationale et pas seulement locale — puis d'identifier des solutions généralisables et de faire le lien avec les instances politiques. Les plateformes locales avaient pour rôle d'adapter le cadre fixé au niveau national à leurs contextes respectifs. L'articulation de ces deux niveaux devait permettre de bien répondre à des besoins précis formulés par les agriculteurs mais aussi d'insérer ces actions dans une dynamique plus globale de mise à l'échelle de solutions adaptables pour l'intensification durable.

Après trois ans de mise en œuvre, les résultats observés étaient mitigés ; par exemple les réponses techniques identifiées étaient finalement peu adaptées en raison d'une mauvaise formulation initiale du problème. Les principales causes directes de ces échecs qui ont pu être identifiées sont liées aux mécanismes de coordination trop peu travaillés, à une vision commune insuffisamment développée et à des compétences non adaptées des acteurs en présence. Des causes plus indirectes sont liées à l'intervention trop limitée dans le temps au regard de l'ampleur des changements qui devaient avoir lieu au niveau des individus et des organisations.

Cependant Mathé *et al.* (2017) notent qu'un renforcement des capacités des acteurs en présence a pu être initié :

– une mise en confiance avec la création d'un espace d'échange entre des acteurs qui n'avaient pas l'habitude de se parler (producteurs et transformateurs) ;

- une meilleure compréhension de la part des chercheurs de la complexité des besoins exprimés ;
- la prise de conscience qu'une variété améliorée, introduite par la recherche, n'est pas nécessairement une priorité pour les paysans, qui ont d'autres critères d'appréciation et sélectionnent d'autres variétés non issues de la recherche ;
- une meilleure coordination entre certaines organisations qui offrent des services aux producteurs, comme le conseil agricole et l'accès aux ressources financières, grâce à une vision partagée de leurs rôles respectifs.

Ce cas illustre comment un dispositif en contexte faible, avec une sélection peu précise des parties prenantes, conduit à peu de résultats si le temps n'est pas suffisant pour dérouler l'ensemble du protocole d'interactions entre ces acteurs et si la facilitation n'est pas correctement menée. Les facilitateurs n'ont pas été en mesure de faire suffisamment communiquer les chercheurs et les agriculteurs pour qu'ils s'entendent sur les variétés à choisir et sur la mise en œuvre de protocoles d'expérimentation qui intéressent les deux parties. Le rôle des parties prenantes (agriculteurs, services de conseil, chercheurs, instituts financiers, fournisseurs d'intrants, transformateurs, transporteurs) dans l'innovation n'a également pas été clairement défini ni orchestré, ce qui a conduit à des actions individuelles sans effets voire à des conflits. Les facilitateurs auraient dû recevoir une formation initiale plus importante pour être *a minima* en capacité d'analyser les situations dans le processus d'interaction, afin d'utiliser les bonnes méthodes de facilitation au bon moment.

Un dispositif très sélectif en contexte faible

Dans le cadre du projet de recherche-développement *Abaco (Agroecology-based aggradation conservation agriculture)* coordonné par le Cirad, une équipe de chercheurs composée d'agronomes, de zootechniciens, de sociologues et de géographes a animé des plateformes d'innovation à l'échelle villageoise entre 2011 et 2014 au Burkina Faso pour co-construire des systèmes de production fondés sur les principes de l'agriculture de conservation avec l'ensemble des agriculteurs et acteurs de la gouvernance de ces territoires (Dabire *et al.*, 2017).

Cet objectif, initialement porté par l'équipe de recherche, a rejoint une demande locale de recherche de solutions pour réduire l'épuisement des

sols et la faible productivité, ainsi que pour mieux valoriser les résidus de culture comme source de biomasse pendant la saison sèche. Cette construction collective d'objectifs partagés s'est déroulée pendant près d'un an, avec en parallèle la recherche d'un mode de fonctionnement de la plateforme d'innovation qui soit ancré dans des dynamiques locales propres à chaque village. Chaque plateforme a ainsi été construite sur une sélection des acteurs à mobiliser, établie à partir d'analyses préalables des organisations existantes et de leur rôle dans la gestion des ressources agricoles. Le protocole d'interactions entre chercheurs et acteurs a été décidé en commun et a conduit à la validation d'un cadre opérationnel d'expérimentation et de validation des résultats obtenus, couplant une instance technique chargée uniquement des aspects expérimentaux et une instance institutionnelle chargée de régler les questions relationnelles pour la bonne conduite des expérimentations.

Les résultats obtenus à l'issue des trois années de fonctionnement ont été positifs au regard des évolutions des perceptions, des attitudes et des pratiques des agriculteurs, en lien avec la mise en œuvre de l'agriculture de conservation. Le travail collaboratif a permis à l'ensemble des individus de trouver des solutions inédites à l'échelle du territoire villageois à des problèmes rencontrés au niveau des exploitations agricoles. Les plateformes d'innovation ont permis de déclencher un processus social nécessaire à la transition vers de nouveaux systèmes agricoles qui utilisent les principes de l'agriculture de conservation. Cependant, la mise en œuvre opérationnelle des solutions identifiées et validées collectivement reste un problème à part entière. Elle nécessiterait de nouveaux moyens, dans la mesure où les acteurs concernés n'ont pas pris d'engagement de changement à moyen et long termes. Rien ne garantit donc que les solutions seront réellement appliquées. Par ailleurs, la plateforme n'a pas été pensée pour fonctionner au-delà de la conception des solutions et ne dispose pas de financements additionnels au-delà de la durée du projet Abaco.

Ce cas illustre comment des apprentissages en double boucle ont pu être réalisés, permettant essentiellement de changer les façons de penser des individus et de trouver des solutions inédites à des problèmes compliqués, mais sans aller jusqu'à la mise en œuvre de ces solutions. Les auteurs mettent en avant deux principaux facteurs de réussite :

- la mobilisation d'organisations inclusives existantes, déjà impliquées dans des activités cohérentes avec celles assignées à la plateforme

d'innovation, ce qui a aidé à gagner rapidement en légitimité et à convaincre un public, pour promouvoir le dialogue autour de la conception de nouveaux systèmes agricoles fondés sur les principes de l'agriculture de conservation ;

– l'élaboration minutieuse de mécanismes de coordination et de protocoles d'interaction entre les différents acteurs permettant d'assurer une continuité entre l'exploration d'enjeux techniques et d'enjeux institutionnels dans les changements expérimentés.

Un dispositif très sélectif en contexte fort

Dans l'ouest du Burkina Faso, l'Union des groupements pour la commercialisation des produits agricoles de la Boucle du Mouhoun (UGCPA/BM) s'est dotée d'une politique agro-environnementale pour asseoir sa vision des changements de pratiques agricoles à opérer, afin d'assurer la durabilité des systèmes de production de ses membres sur les moyen et long termes. Cette politique encourage l'adoption de techniques écologiques de fertilisation des sols (engrais verts, paillage, jachère améliorée, légumineuses), de lutte contre l'érosion (cordons pierreux, agroforesterie), de réduction de l'usage des intrants chimiques, ainsi que la promotion de l'agriculture biologique. Afin de susciter l'adhésion de ses membres à cette vision et ainsi faciliter l'adoption de techniques agro-écologiques, l'UGCPA/BM a fait appel à l'un de ses proches partenaires, la Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde (Farm), pour l'aider à concevoir une démarche de communication originale sur sa politique agro-environnementale, mobilisant des technologies innovantes. C'est ainsi qu'en 2013, Farm a lancé un partenariat d'innovation pour une durée de deux ans, associant l'organisation de producteurs (l'UGCPA), la recherche (le Cirad) et une agence de communication (Jade production) avec qui des collaborations antérieures avaient été fructueuses. Leur objectif était de concevoir ensemble cette démarche, chacun ayant été sélectionné pour ses compétences et les regards complémentaires portés sur les questions de la communication et de l'intensification écologique.

Le processus de conception de la démarche de communication s'est déroulé sur plusieurs mois. Il a été de type réflexif, itératif et participatif. Le processus a alterné des phases de travail collectif, de collecte de données sur le terrain et de restitution, de réflexion interne à l'UGCPA, toutes guidées par les besoins de l'organisation pour progresser dans la

formulation de ses besoins, de ses attentes et dans sa réflexion sur la politique agro-environnementale qu'elle souhaite mettre en œuvre. Chaque étape a été pensée pour lui apporter des éléments nouveaux aidant *in fine* à l'élaboration de la démarche de communication. Il en a résulté une démarche originale d'accompagnement des producteurs alliant vidéo participative et séances collectives de conseil.

Si l'UGCPA s'est montrée très satisfaite du résultat, il n'en reste pas moins que l'innovation produite (la démarche de communication utilisant la vidéo participative) peut sembler peu originale, même si elle constitue en soi une nouveauté à l'échelle de l'organisation de producteurs. On peut donc s'interroger sur la nécessité de déployer un tel dispositif collaboratif relativement coûteux. Mais il est apparu un autre résultat, particulièrement important au regard des enjeux de la transition écologique, qui a porté sur le renforcement des capacités mêmes de l'organisation de producteurs : capacités à avoir une vision et à organiser le changement, à s'organiser pour mener les actions identifiées de façon efficace, à savoir communiquer en interne, avec ses membres et avec ses partenaires, et à adopter une démarche réflexive, pas à pas, pour évaluer ses actions. Toillier et Girard (2015) montrent que c'est le protocole même d'interactions très séquencées entre les quatre partenaires qui a permis ce renforcement de capacités. Des phases collectives de construction ont été alternées avec des phases internes aux organisations de travail « individuel », chacun dans son domaine de compétence : une phase d'expérimentation, des phases d'ajustement entre deux ou trois partenaires et des phases collectives de confrontation. Ce protocole a favorisé l'engagement des partenaires et la reconnaissance du potentiel des initiatives individuelles avec une confiance partagée. Il a permis des apprentissages individuels et organisationnels. Le dispositif d'innovation collaborative a représenté en soi un dispositif de renforcement de capacité de l'organisation de producteurs. Ce changement, véritable transformation interne de l'organisation de producteurs, représente un atout pour accélérer la transition agro-écologique avec l'émergence d'une nouvelle capacité de l'UGCPA à mieux exprimer ses besoins auprès de ses partenaires et à mieux cibler ses appuis auprès de ses membres.

Un dispositif peu sélectif en contexte fort

Le Conseil national de l'agriculture biologique (CNABio) est une

association créée en 2011 qui a pour vocation de fédérer des acteurs et des initiatives d'appui à l'agriculture biologique au Burkina Faso. Elle est constituée de membres, soit une quarantaine d'organisations pouvant être aussi bien des groupements de producteurs, de commerçants, des entreprises privées fournisseurs d'intrants, des ONG ou des consommateurs. La forte sélection des membres se fait sur leur adhésion à une vision, à un engagement à progresser sur le développement de l'agro-écologie et de l'agriculture biologique, à des compétences techniques particulières, et à la mutualisation de ressources.

En tant qu'organisation faîtière d'un réseau national, le CNABio s'est fixé pour mission de proposer un cadre organisé pour lever collectivement les obstacles à l'émergence de l'agriculture biologique et de l'agro-écologie. Ainsi une nouvelle norme burkinabè a vu le jour en 2013, puis le premier label en 2016. Plus d'une dizaine de fermes ont depuis reçu la certification, ce qui concourt en retour à l'essor de filières et de nouveaux marchés. De nombreux défis restent cependant à relever : notamment favoriser l'accès à des intrants biologiques et pérenniser des systèmes de production biologique, en utilisant notamment certaines techniques agro-écologiques. Afin de renforcer ses capacités à accompagner ces innovations aussi bien techniques qu'organisationnelles, le CNABio a reçu l'appui du Cirad *via* un projet dédié au renforcement des capacités à innover, à partir de 2016. Ce projet lui a donné des moyens techniques, méthodologiques et financiers pour réaliser des actions collectives d'expérimentation, de concertation et de coordination entre les membres du réseau. Ce sont essentiellement les méthodes participatives d'identification des besoins des membres du réseau ainsi que des compétences de facilitation qui se sont révélées leur être utiles. Par la consolidation de son cadre d'interaction et des mécanismes de coordination, le CNABio a par exemple rapidement pu identifier de nouvelles stratégies d'amélioration des liens entre la production et la commercialisation des produits biologiques. Un projet ponctuel a alors pu être monté avec de nouveaux partenaires pour mettre en œuvre de façon ciblée de nouvelles solutions de commercialisation en circuits courts.

Ce cas d'étude montre comment un réseau facilité disposant de financements propres assurant son existence sur le moyen terme représente en soi un dispositif d'innovation collaborative. En réponse à un problème complexe, la construction progressive d'une vision commune, la présence d'une organisation leader légitime pour mobiliser d'autres organisations, la

confiance acquise à la suite des divers succès collectifs et la régularité d'échanges structurés sur le temps long, l'engagement à travers le système d'adhésion des membres à ce réseau apparaissent comme des facteurs de réussite au déploiement de changements à de multiples niveaux (Toillier *et al.*, 2017). Ces résultats invisibles constituent le socle au montage de projets techniques bien définis, auxquels les bailleurs répondent de plus en plus positivement. Le réseau commence ainsi à inverser la dynamique en poussant les bailleurs à s'aligner sur ses besoins et non pas à répondre, au coup par coup, de façon opportuniste à ses sollicitations. Ainsi l'existence d'une stratégie commune et de mécanismes de coordination viennent pallier des ressources (humaines, financières, matérielles) initialement faibles en renforçant sa capacité à s'impliquer dans des processus stratégiques et politiques sur le long terme. La conséquence de ces processus d'apprentissage multi-niveaux (individus, organisations, inter-organisations) est que les pas de temps de l'action sont longs (plus d'une dizaine d'années).

Synthèse et discussion

Nos observations issues des quatre cas d'étude nous amènent à discuter trois idées : la remise en question de l'approche projet, la nécessité d'une équipe d'accompagnement et non de facilitateurs pour gérer les paradoxes des projets d'innovation, le rôle des dispositifs d'innovation collaborative dans les transitions agro-écologiques.

Peut-on gérer l'innovation par projets ?

Dans les quatre cas, les résultats techniques peuvent être considérés comme limités, soit peu originaux, soit ne répondant qu'à une petite partie du problème posé au regard des enjeux techniques formulés initialement. L'essentiel des changements et des résultats acquis porte sur une amélioration des compétences individuelles et des capacités collectives à formuler des problèmes pour progresser ensemble. Or ces changements d'ordre fonctionnel et cognitif et non technique sont rarement visés en tant que tels au moment où est lancé le dispositif de collaboration. Cela contribue à créer des décalages entre les résultats atteints et les promesses de changement formulées.

Dans trois des quatre cas, le dispositif se contente d'aider les acteurs à développer une idée, concevoir des solutions de façon expérimentale jusqu'à arriver à un prototype qui répond à un ensemble de critères techniques et fonctionnels ; une solution acceptable, désirée, qui répond avec satisfaction à des problèmes ou à des besoins. Cependant, cela ne constitue qu'une première partie de sa mise en œuvre : reste à diffuser les vidéos participatives et organiser les séances de conseil collectives (cas n° 4) ; reste à appliquer largement les techniques de l'agriculture de conservation et à mettre en œuvre les chartes foncières intégrant la gestion des résidus de culture (cas n° 2) ; reste à approvisionner les producteurs en semences adaptées (cas n° 1). Ces objectifs soulèvent de nouveaux problèmes complexes. Soit les parties prenantes sont suffisamment autonomes et motivées pour agir seules par la suite — c'est le cas de l'UGCPA, qui a mis en œuvre sa démarche de communication, ou du CNABio qui monte des projets pour trouver les fonds nécessaires à la mise en œuvre de sa stratégie de déploiement de l'agriculture biologique — ; soit elles ne le sont pas et la dynamique d'innovation enclenchée reste inachevée. Le dispositif a alors principalement contribué à faire émerger une communauté d'innovation qui reste dans l'attente d'un nouveau projet pour poursuivre le travail, comme c'est souvent le cas dans les pays du Sud où les acteurs sont habitués à la « logique projets ». Triomphe *et al.* (2016) le montrent en reconstituant *ex post* des trajectoires d'innovations. Elles sont principalement structurées par des grappes de projets centrés le plus souvent sur des enjeux de développement technologique, et ce sur plusieurs décennies, avant que l'innovation n'aboutisse.

Nos observations tendent à montrer que c'est la logique processus qui enclenche réellement des dynamiques collectives de résolution de problèmes et d'application de solutions inédites adaptées aux besoins ; les projets de développement sont utilisés seulement dans un second temps pour obtenir ponctuellement des moyens financiers nécessaires à des activités d'expérimentation ou de diffusion de nouvelles technologies (cas n° 3). Lucas *et al.* (2016) confirment ainsi, dans le contexte français, que c'est la recherche d'autonomie des paysans qui leur permet de produire des innovations agro-écologiques. Le problème de la mise en œuvre de solutions n'existe pas car le processus d'innovation collaborative est maintenu au fil du temps, indépendamment des financements ou interventions extérieures. Dans le cas d'étude n° 3, de par son mandat même, l'organisation leader (le CNABio) mobilise constamment des ressources pour assurer la mise en œuvre, dans la continuité, des solutions

identifiées collectivement, et pour réitérer autant que nécessaire des phases de collaboration, de confrontation ou d'expérimentation. Ce processus ne peut se faire que sur un temps long (plus de dix ans) et avec une organisation pivot qui prend en charge les mécanismes de coordination, les protocoles d'interaction et le montage de projets adaptés aux besoins identifiés et cohérent au temps de l'action des acteurs engagés dans le processus d'innovation (Toillier *et al.*, 2017). Lenfle (2004) montre en quoi la gestion de projets innovants est de toute autre nature que la gestion de projets de développement, de par principalement la nature et les compétences des acteurs à impliquer, les temporalités à considérer et les principes de gestion à utiliser. Ainsi ce n'est pas l'approche projet en elle-même qui est à remettre en cause mais la finalité du projet, les principes et modalités de gestion.

Dans cette perspective, les dispositifs d'innovation collaborative doivent plutôt être considérés comme des organisations en capacité d'animer et conduire un processus d'innovation sur le long terme et de gérer un portefeuille de projets qui vont venir répondre de façon stratégique à des problèmes particuliers, pas à pas. En ce sens, les réseaux facilités sont des formes d'organisation plus appropriées et efficaces pour conduire un projet d'innovation que les plateformes d'innovation créées *ex nihilo* le temps d'un projet de développement de court terme. Le cas du réseau facilité du CNABio (cas n° 4) montre comment la « logique processus » promue par l'innovation collaborative peut prendre le dessus sur l'approche projet pour laisser le temps à l'innovation de se déployer dans toutes ses dimensions sociales, techniques, institutionnelles. Les projets vraiment utiles porteurs de changements effectifs émergent alors dans un second temps, aux bons moments, lorsque les acteurs sont alignés, ont identifié une solution à mettre à œuvre et se sont partagés les rôles et responsabilités.

Du facilitateur à l'équipe d'accompagnement

Dans les quatre cas, tous les facteurs de réussite d'un mécanisme d'innovation collaborative n'ont pas pu être pleinement réunis, ce qui a contribué à produire des résultats insuffisants au regard des intentions initiales et des objectifs attribués à chaque dispositif. Le tableau 14.3 présente les forces et faiblesses des quatre dispositifs collaboratifs étudiés. Les deux cas où les mécanismes de coordination et le protocole des

interactions ont été les plus importants sont ceux qui ont obtenu les résultats les plus satisfaisants au regard des objectifs initiaux (plateforme Abaco et partenariat d'innovation UGCPA - Farm - Cirad - Jade production). Dans un cas, cette fonction de coordination et d'organisation a été remplie par la recherche (le Cirad), et dans l'autre, par une ONG facilitatrice (Farm), deux organisations rompues à ce type d'approche par leurs expériences passées. Dans les deux autres cas, cette fonction est remplie par des facilitateurs *ad hoc* dont les compétences sont limitées pour remplir pleinement leur rôle, notamment car ils n'ont pas une vision globale des processus qui se jouent dans les interactions entre les différentes organisations. L'importance et la complexité de la fonction de facilitation des processus d'innovation collective ont déjà été soulignées par de nombreux travaux (Klerkx et Leeuwis, 2008, 2009) mais elles sont plus rarement reliées à la nature du problème particulier à résoudre. Stayer *et al.* (2018) montrent que, dans les transitions agro-écologiques, les problèmes posés comportent des contradictions avec des attentes sociales très fortes qui rendent particulièrement difficiles leur résolution et la concrétisation des actions envisagées. En conséquence, la capacité du facilitateur à créer un cadre organisé mais flexible pour une action collective efficace devient primordiale.

À la lumière des besoins d'animation et de gestion des dispositifs collaboratifs, nous proposons de parler de « capacités-support » pour désigner les capacités requises pour faire fonctionner ces dispositifs. Ces capacités-support sont de différentes natures et peuvent difficilement être réunies en un seul individu. Hormis ce qui a déjà été identifié dans la littérature, on constate qu'il s'agit aussi de connaître dans une certaine mesure les enjeux techniques et organisationnels de l'innovation ; de connaître le réseau des acteurs impliqués et de comprendre les jeux d'acteur ; de pouvoir proposer des stratégies d'expérimentation adaptées à la situation ainsi que des formes d'arrangement plus ou moins formalisées qui vont convenir aux habitudes des acteurs impliqués (partenariat, contrats, charte d'engagement, etc.) ; de connaître des protocoles d'interaction entre différents types d'organisation, des outils de suivi-évaluation spécifiques, ou encore des techniques d'analyse réflexive. L'enjeu est de déployer une démarche d'accompagnement des acteurs en situation d'innovation pour répondre au fur et à mesure à leurs besoins, qu'ils soient de nature technique ou organisationnelle.

La figure du facilitateur est largement soulignée dans la littérature alors

que les résultats empiriques de nos cas d'étude montrent qu'il s'agit plutôt d'équipes de facilitation ou plus globalement d'accompagnement constituées *ad hoc* qui couvrent l'ensemble de ces compétences. Ces équipes sont constituées de chercheurs, d'agents de développement des organisations parties prenantes, d'individus promus « facilitateurs » le temps du projet, ou encore de responsables paysans qui représentent les intérêts des bénéficiaires de l'innovation. Elles s'organisent au fur et à mesure que les problèmes de collaboration émergent et finissent par prendre en charge le fonctionnement même du dispositif collaboratif. Davantage d'attention doit être portée à la constitution de ces équipes, à leur outillage méthodologique et au renforcement de leurs capacités, techniques et fonctionnelles, qui vont conditionner la rapidité et l'effectivité de l'innovation. Toillier *et al.* (2018b) montrent en particulier la diversité des postures possibles des chercheurs et des capacités requises pour accompagner un processus d'innovation. Ils peuvent être formateurs, experts, communicateurs, ou encore organisateurs des mises en relation de différentes catégories d'acteurs. Leur adaptabilité est soulignée comme une capacité-clef pour jouer un rôle d'accompagnement étant donné que par essence l'innovation est imprévisible.

Encore rares sont aujourd'hui les projets ou les formations dédiés à créer ces capacités. Deux voies sont envisageables : un renforcement de capacité géré en interne par les organisations elles-mêmes qui souhaitent se positionner dans l'animation de dispositifs d'innovation collaborative ; un renforcement de capacité *ad hoc* par projet de façon concomitante à la mise en place d'un dispositif collaboratif.

Tableau 14.3. Synthèse des analyses de cas.

	Cas n° 1	Cas n° 2	Cas n° 3	Cas n° 4
Cas d'étude	Plateforme d'innovation multi-service, Cameroun	Plateforme d'innovation guidée par la recherche Abaco, Burkina Faso	Partenariat d'innovation UGCPA - Farm -Cirad - Jade production, Burkina Faso	Réseau facilité CNABio, Burkina Faso
Visée de la	Pour enclencher une dynamique collective de	Pour enclencher une dynamique collective de	Pour résoudre un problème	Pour accompagner un changement

collaboration	résolution de problèmes dans une filière	résolution de problèmes dans un village	ponctuel	complexe dans le temps long
Principaux résultats	Bases posées pour une autre action collective mieux ciblée et atteindre les résultats visés	Résultats visés atteints mais ne répond que partiellement aux enjeux Dynamique collective enclenchée pour poursuivre les changements amorcés	Le produit attendu a pu être finalisé mais il ne répond que partiellement aux enjeux Capacités créées pour poursuivre les changements amorcés	Succession de micro-résultats qui contribuent à l'objectif global
Mécanismes de coordination	- Faible Non formalisés	++ Coordination réglée par une instance institutionnalisée à l'échelle du village	++ Coordination réglée par des contrats de collaboration entre partenaires	+ Coordination réglée par le système d'adhésion
Protocole d'interactions	- Inadapté aux besoins et trop court (3 ans)	+ Séquencé et relativement court (4 ans)	++ Très séquencé et rapide (moins de 2 ans)	- Pas formalisé et étalé sur un temps long (plus de 10 ans)
Vision commune	- Peu développée	++ Développée	- En partie consensuelle	++ Développée
Mobilisation des ressources nécessaires	- Insuffisante par manque de stratégie	+ Partielle	++ Suffisante pour les objectifs visés	- Insuffisante par manque de moyens financiers

Les dispositifs collaboratifs : des lieux

d'accompagnement en période de transition

À travers le renforcement de capacité des acteurs de l'innovation, les quatre dispositifs étudiés offrent un lieu, ou un cadre, à l'accompagnement des changements au niveau des individus et des organisations qui sont nécessaires à la transition agro-écologique. Ils interviennent à des moments différents, à des niveaux d'organisation différents et selon des intensités variables que nous n'avons pas évaluées. Nous les appréhendons simplement au travers de l'ampleur des changements observés à l'issue des activités collaboratives menées.

Les cas d'étude choisis montrent que ces dispositifs peuvent prendre en charge des problèmes soit à l'échelle de l'exploitation ou du territoire villageois pour mettre en place de nouveaux systèmes de production, soit au niveau des organisations d'appui aux agriculteurs pour leur apporter des services plus adaptés, soit au niveau du système agro-alimentaire dans son ensemble. L'objectif peut être de développer un ensemble de solutions inédites à une succession de problèmes plus ou moins simples, ou simplement d'apporter une réponse à un problème bien délimité. Cela dépend des initiateurs du dispositif, des moyens alloués et du cadre temporel donné — court terme (projet), moyen terme (programme) ou long terme (réseau facilité).

Cependant, ces dispositifs collaboratifs sont souvent perçus comme chronophages, coûteux avec des résultats faibles au regard des promesses faites. L'écologisation de l'agriculture, plus que toute autre évolution des systèmes de production, génère des problèmes de multiples natures qui remettent en question à la fois les façons d'agir et de se comporter, les façons de penser et les façons de percevoir son environnement pour les acteurs impliqués dans la résolution de ces problèmes. Les dispositifs d'innovation collaborative ont pour vocation de prendre en charge ces transformations individuelles et organisationnelles tout en assurant la production continue d'un ensemble de résultats techniques qui contribuent à identifier des solutions inédites aux problèmes soulevés. De par la nécessité de faire collaborer des individus et des organisations en dehors de leur cadre habituel, ces dispositifs doivent proposer des mécanismes de coordination et des protocoles d'interaction suffisamment robustes et longs permettant la construction d'une vision commune et la mobilisation des ressources nécessaires à l'action. L'analyse de quatre cas d'étude montre comment des faiblesses dans ces éléments compromettent le

développement de solutions satisfaisantes. Les dispositifs enclenchent alors des dynamiques davantage qu'ils ne les mènent à leur terme, et doivent alors exister au-delà des approches projet pour atteindre les objectifs visés. Une solution serait de s'appuyer sur des organisations pérennes présentes sur place et capables de prendre en charge l'animation de ces dispositifs sur le long terme, dans la mesure où cela ferait partie de leur mandat.

Conclusion

Ce chapitre visait à soulever des questions sur la portée, les mécanismes et les bénéfices des dispositifs d'innovation collaborative qui apparaissent nécessaires pour à la fois concevoir et mettre en œuvre des solutions inédites et accélérer la transition agro-écologique. De par les principes mêmes de l'agro-écologie, il n'existe pas de paquets techniques à transférer ou de solutions technologiques clefs en main. L'exploration des connaissances de la diversité des acteurs concernés et l'expérimentation sont nécessaires pour parvenir à proposer de nouveaux systèmes de production ou de nouveaux services viables. Les dispositifs collaboratifs fournissent alors un cadre à l'exploration, à l'expérimentation, au changement d'échelle, en organisant des interactions entre différentes organisations qui ne travaillent pas ensemble habituellement.

À partir d'analyses empiriques, nous montrons l'importance des configurations initiales de ces dispositifs et des mécanismes d'interactions associés qui doivent être d'autant plus structurés et séquencés que le contexte de collaboration initial est faible. Nous montrons également que l'innovation collaborative est un enjeu de processus et non un enjeu de projet. Les écarts entre promesses tenues et résultats acquis tiennent de l'inadéquation de l'approche projet avec le rythme des apprentissages individuels et collectifs. C'est parce qu'une vision et une stratégie communes sont déployées que les acteurs qui portent une innovation peuvent élaborer des projets de développement qui vont répondre à leurs besoins aux bons moments. Ces observations engagent à faire évoluer les manières de penser et d'accompagner l'innovation, en s'intéressant davantage au renforcement des capacités des individus en charge de conduire l'innovation qu'aux résultats techniques à atteindre. De nouvelles formes d'appui et de financement plus flexibles, centrées sur les processus collaboratifs doivent être trouvées pour rendre ces dispositifs efficaces et

ainsi gagner du temps dans les phases de transition agro-écologique. Elles ouvrent de nouveaux champs de recherche autour des questions de gestion de projets d'innovation et d'apprentissages organisationnels, qui sont peu explorées dans le domaine de l'agriculture dans les pays en développement.

Références

Amin A., Roberts J., 2008. Knowing in action: Beyond communities of practice. *Research Policy*, 37 (2), 353-369.

Angbo-Kouakou E., Temple L., Mathé S., Assemien A., 2017. Plateformes d'innovation comme dispositif d'orientation des trajectoires technologiques des filières agricoles : Cas de la filière banane plantain en Côte-d'Ivoire. *Technologie et innovation*, 17 (2), 18 p.

Blandin C., Frugier D., Gaujard C., Gisselbrecht A., Michel D.A., Poste P., Deroo M.N., 2016. Surmonter les paradoxes de l'innovation collective. *Entreprendre & Innover*, 3 (30), 61-71.


Beers P.J., Geerling-Eiff F., 2014. Networks as policy instruments for innovation. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 20 (4), 363-379.

Chesbrough H.W., 2006. Open innovation: A new paradigm for understanding industrial innovation. In : *Open Innovation: Researching a New Paradigm* (H.W. Chesbrough, W. Vanhaverbeke, J. West, eds), Oxford University Press, 1-12, Oxford, Royaume-Uni.


Dabire D., Andrieu N., Djamen P., Coulibaly K., Posthumus H., Diallo A., Karambiri M., Douzet J.-M., Triomphe B., 2017. Operationalizing an innovation platform approach for community-based participatory research on conservation agriculture in Burkina Faso. *Experimental Agriculture*, 53 (3), 460-479.

Dhanaraj C., Parkhe A., 2006. Orchestrating innovation networks. *Academy of Management Review*, 31 (3), 659-662.

Demil B., Lecocq X., 2012. Innovation collaborative et propriété intellectuelle : Quelques bonnes pratiques, Annexe, INPI.

Duru M., Théron O., Fares M., 2015. Designing agroecological transitions. *Agron Sustain Dev*, 35 (4), 1237-1257, <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x> .

Genus A., Coles A.-M., 2008. Rethinking the multi-level perspective of technological transitions. *Research Policy*, 37, 1436-1445.

Gardet E., 2009. Modes de coordination instaurés par le pivot d'un réseau d'innovation : Le cas d'un porteur de projet TPE. *Management & Avenir*, 2009/6 (26), 33-51, <https://doi.org/10.3917/mav.026.0033> .

Garud R., Jain S., Kumaraswamy A., 2002. Institutional entrepreneurship in the sponsorship of common technological standards: The case of Sun Microsystems and Java. *Academy of Management Journal*, 45, 196-214.

Gläser J., 2001. "Producing communities" as a theoretical challenge. *In : Proceedings of The Australian Sociological Association (TASA 2001)*, 1-11.

Griffon M., 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Quæ, Versailles, 224 p.

Goerzen A., 2007. Alliance networks and firm performance: The impact of repeated partnerships. *Strategic Management Journal*, 28 (5), 487-509.

Gassmann O., Enkel E., Chesbrough H., 2006. The future of open innovation. *R&D Management*, 40, 3, 2010.

Hatchuel A., 1999. Connaissances, modèles d'interaction et rationalisations : De la théorie de l'entreprise à l'économie de la connaissance. *Revue d'économie industrielle*, 88, 187-209.

Janssen O., Van de Vliert E., West M., 2004. The bright and dark sides of individual and group innovation: A special issue introduction. *Journal of Organizational Behavior*, 25, 129-145.

Ketchen D.J., Duane I., Snow Ch., 2007. Strategic entrepreneurship, collaborative innovation, and wealth creation. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 1 (3-4), 371-385.

Klerkx L., Leeuwis C., 2008. Balancing multiple interests: Embedding

innovation intermediation in the agricultural knowledge infrastructure. *Technovation*, 28, 364-378.

Klerkx L., Leeuwis C., 2009. Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. *Technological Forecasting & Social Change*, 76, 849-860.

Lenfle S., 2004. Peut-on gérer l'innovation par projet ? *In : Faire de la recherche en management de projet* (G. Garel, V. Giard, C. Midler, eds), Vuibert, Paris, 11-34.

Lucas V., Gasselin P., Van der Ploeg J.D., 2016. Increasing searches for autonomy among French farmers: A starting point for agroecology? *In : 12th European IFSA Symposium* (IFSA, ed.), Harper Adams University, Royaume-Uni, 12-15 juillet 2016, 12 p.

Mathé S., Tsafack S., Degrande A., Fotso A., Nkafu A., Idrissou L., Bisseleua H., Bidogeza J.-C., Suh C., 2018. Les plateformes d'innovation comme nouveaux dispositifs multi-services pour le renforcement des capacités à innover des agriculteurs au Cameroun. *In : Les Nouveaux Modes d'organisation des processus d'innovation*, congrès RRI - Forum innovation VIII, 4 et 5 juin 2018, Nîmes, 24 p.

Meynard J.M., 2017. L'agro-écologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation. *OCL*, 24 (3), D303.

Mischler P., Hocdé H., Triomphe B., Omon B., 2008. Conception de systèmes de culture et de production avec des agriculteurs : Partager les connaissances et les compétences pour innover. *In : Systèmes de culture innovants et durables : Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* (R. Reau, T. Doré, eds), Éducagri, Dijon, 71-89.

Oborn I., Vanlauwe B., Phillips M., Thomas R., Brooijmans W., Atta-Krah K., eds, 2017. *Sustainable Intensification in Smallholder Agriculture: An integrated systems research approach*, Earthscan Pub., Londres / New York, Royaume-Uni/États-Unis, 387 p.

Schut M., Klerkx L., Rodenburg J., Kayeke J., Hinnou L.C., Raboanarielina C.M., Bastiaans L., 2015. RAAIS: Rapid Appraisal of Agricultural Innovation Systems (Part I). A diagnostic tool for integrated

analysis of complex problems and innovation capacity. *Agricultural Systems*, 132, 1-11.

Snowden D., Boone M., 2007. A leader's framework for decision making. *Harvard Business Review*, numéro de novembre.


Steyaert P., Barbier M., Cerf M., Levain A., Loconto A., 2017. Role of intermediation in the management of complex sociotechnical transitions. *In : Agroecological Transitions: Changes and breakthroughs in the making* (B. Elzen, A. Augustyn, M. Barbier, B. Van Mierlo, eds), Wageningen University & Research, Pays-Bas, 257-280.

Swaans K., Boogaard B., Bendapudi R., Taye H., Hendrickx S., Klerkx L., 2014. Operationalizing inclusive innovation: Lessons from innovation platforms in livestock value chains in India and Mozambique. *Innovation and Development*, 4, 239-257.

TAP (Tropical Agriculture Platform), 2016. *Common Framework on Capacity Development for Agricultural Innovation Systems: Conceptual background*, CAB International, Wallingford, Royaume-Uni.

Temple L., 2017. Processus d'innovation dans les transitions agro-écologiques des pays en développement. *Technologie et innovation*, 17 (2), 4 p.

Toillier A., Compaore E., Kola P., 2017. Can we strategically manage multistakeholder innovation processes in agriculture? Insights from case studies in Burkina Faso. *In : Transformative Learning: New directions in agricultural extension and education* (Koutsouris et al. eds), 23rd European Seminar on Extension and Education (ESEE), 4-7 juillet 2017, Chania, Grèce.

Toillier A., Girard P., 2016. Comment les organisations de producteurs peuvent-elles accompagner leurs membres vers l'intensification écologique ? Se doter d'une politique agro-environnementale et communiquer : le choix de l'UGCPA/BM au Burkina-Faso. Paris : FARM, 75 p. (Champs d'acteurs, 4), http://www.fondation-farm.org/zoe/doc/farm_cha4_201602_ugcpabm.pdf 

Toillier A., Devaux-Spartakis A., Faure G., Barret D., Marquié C., 2018b. Comprendre la contribution de la recherche à l'innovation collective par

l'exploration de mécanismes de renforcement de capacité. *Cahiers agricultures*, 27, 15002.

Toillier A., Faure G., Chia E., 2018a. Penser et organiser l'accompagnement de l'innovation collective dans l'agriculture : Diversité des situations et implications pour la recherche. *In : Innovations dans l'agriculture et l'agro-alimentaire* (Faure et al., eds), à paraître.

Triomphe B., Floquet A., Letty B., Kamau G., Almekinders C., Waters-Bayer A., 2016. Mieux évaluer et accompagner l'innovation agricole en Afrique : Leçons d'une analyse transversale de 13 cas d'études. *Cahiers agricultures*, 25 (6), e64003, 11 p.

Uphoff N., ed., 2002. *Agroecological Innovations: Increasing food production with participatory development*, Earthscan pub, Londres, 306 p.

Van Mierlo B.C., Augustyn A.M., Elzen B., Barbier M., 2017. Agroecological Transitions: Changes and breakthroughs in the making. *In : Agroecological Transitions: Changes and breakthroughs in the making* (B. Elzen, A. Augustyn, M. Barbier, B. van Mierlo, eds), Wageningen University & Research, Pays-Bas, 9-16.

Von Hippel E., 2005. *Democratizing Innovation*, MIT Press, Cambridge, Royaume-Uni, 216 p.

Waddell S., 2011. *Global Action Networks: Creating our future together*, Palgrave Macmillan / Bocconi University Press, New York / Londres, 244 p.

Warner K.D., 2008. Agroecology as participatory science: Emerging alternatives to technology transfer extension practice. *Science Technology Human Values*, 33, 754-777.

Weick K.E., 2001. *Making Sense of the Organization*, Blackwell Publishers, Oxford, Royaume-Uni, 483 p.

Weltin M., Zasada I., Piorr A., Debolini M., Geniaux G., Moreno Perez O., Scherer L., Tudela Marco L., Schulp C.J.E., 2018. Conceptualising fields of action for sustainable intensification: A systematic literature review and application to regional case studies. *Agriculture, Ecosystems and*

Environment, 257, 68-80.

Whiteside M., 1998. *Living Farms: Encouraging sustainable smallholders in Southern Africa*, Earthscan publ., Londres, 217 p.

CHAPITRE 15

Quelles dynamiques marchandes pour promouvoir la transition agro-écologique ?

Claire Cerdan, Estelle Biénabe, Hélène David-Benz, Sylvaine Lemeilleur, Delphine Marie-Vivien, Isabelle Vagneron, Paule Moustier

Dans son rapport sur le droit à l'alimentation, O. De Schutter conclut à la nécessité de changer, au niveau de la planète, de système agricole pour parvenir à une alimentation plus durable, plus équitable, permettant de nourrir la population mondiale. Il préconise « une transition vers une agro-écologie diversifiée, basée sur des fermes moins grandes, pratiquant une agriculture moins intensive et utilisant moins d'intrants » (Shutter De, 2014). Les termes de cette recommandation sont clairs ! Ils confirment que l'agro-écologie est reconnue, passant du statut de modèle contestataire de la révolution verte à celui de proposition de modèle d'agriculture à diffuser à large échelle (IDAE, 2015). Et pourtant, cette transition agro-écologique n'est pas si simple à mettre en œuvre. Elle suppose en effet la remise en cause, voire la déconstruction, des connaissances et des pratiques agricoles et alimentaires à la base de notre représentation du modèle de développement agricole[49].

L'écologie, les sciences environnementales et certains champs de l'agronomie ont, les premiers, recherché des modes de production alternatifs en s'intéressant aux processus écologiques pour fournir des services utiles à la production agricole (Ollivier et Bellon, 2013). Les

questions liées à la mise en marché des produits de l'agro-écologie sont apparues plus tardivement *via* les sciences sociales (économie, sociologie, géographie). Ces travaux montrent que l'agro-écologie repose aussi sur de nouvelles dynamiques marchandes centrées sur une relocalisation des systèmes productifs et une proximité entre producteur et consommateur (essor de la vente directe et des circuits courts) et sur l'élaboration de nouvelles normes et de dispositifs de garantie (certification) (Allen, 2004 ; Guthman, 2004). Depuis une quinzaine d'années, la sociologie et la géographie revendiquent également une meilleure prise en compte des formes de consommation des produits alimentaires et de leur connexion — ou reconnexion — avec les manières de produire (Delfosse, 2003 ; Rieutort, 2011 ; Le Velly, 2017), ce que David Goodman (2004) dénomme le virage de la consommation de la sociologie rurale (*consumption turn*). Ces évolutions dans différents champs disciplinaires ont ainsi contribué à une transformation progressive des niveaux d'organisation et d'analyse de l'agro-écologie, allant de la parcelle au système agricole et alimentaire (Wezel *et al.*, 2009).

Plusieurs expériences conduites à une échelle locale associent étroitement des processus d'écologisation des systèmes agricoles à des dynamiques marchandes spécifiques. Identifiées comme des systèmes alimentaires alternatifs (*alternative food network*), ces expériences sont porteuses de nouveaux modèles de développement, de « promesse de différence » et de nouvelles valeurs (Le Velly, 2017). Bien que la viabilité de ces systèmes alternatifs soit établie, les questions sur leur changement d'échelle ou leur reproductibilité restent encore largement sans réponse. Or, l'adoption de pratiques agro-écologiques entraîne généralement des coûts additionnels pour le producteur en termes de main-d'œuvre, de signalisation et de contrôle. Ces surcoûts créent des incitations pour chercher de nouveaux débouchés plus rémunérateurs vers des clients plus attentifs aux questions de qualité et d'environnement (Moustier, 2014). Le couplage entre les pratiques de production agro-écologique et des pratiques commerciales spécifiques est cependant peu documenté.

Ce chapitre propose d'explorer comment des produits issus des systèmes de production agro-écologique sont valorisés sur les marchés, avec quels modes d'organisation et quels dispositifs d'échanges marchands[50] spécifiques, et dans quelle mesure ces derniers contribuent à faire évoluer les systèmes agricoles. La présentation détaillée de cas représentatifs permettra de saisir la diversité de ces expériences de mise en marché et de

tirer des enseignements sur les possibilités et les limites de ces dispositifs marchands, de changer d'échelle et de déverrouiller les systèmes agricoles et alimentaires en place.

Des dispositifs marchands pour déverrouiller les systèmes agricoles

Les travaux sur les systèmes alimentaires alternatifs montrent que ceux-ci font preuve d'un fort dynamisme et d'une grande créativité. La diversité des formes de mise en marché des produits de l'agro-écologie qui sont expérimentées par les producteurs et les consommateurs, leur capacité d'innovation et d'adaptation nous conduisent à avoir une vision optimiste de ces processus. En revanche, ces expériences sont souvent accusées d'être peu reproductibles, trop restreintes, trop locales, en marge et inadaptées pour répondre aux enjeux globaux de production agricole et de sécurisation alimentaire.

La littérature sur la théorie de la transition socio-technique et sa perspective multi-niveau (Geels, 2002 ; Geels et Schot, 2007) permet de relativiser ces limites[51]. Elle propose de positionner, dans un cadre d'analyse commun, le système alimentaire agro-industriel dominant (considéré comme le régime socio-technique) et ces expériences alternatives (considérées comme des niches) (fig. 15.1). Le régime socio-technique est stable : il repose sur un ensemble de normes, d'acteurs, de politiques, de marchés et de recherches bien établis. Les niches sont construites à l'écart des règles et des acteurs dominants. Dans cette approche, les niches ne sont pas déconnectées du modèle de transition, elles sont appréhendées comme des espaces d'incubation (Geels, 2002), des lieux de réalisation des processus d'apprentissage et de construction de nouveaux réseaux économiques ; elles ont vocation à abriter la construction et la consolidation de systèmes alternatifs (Meynard *et al.*, 2013). Dans la représentation graphique de la transition socio-technique de Geels et Schot (2007), les niches tendent progressivement à intégrer le régime dominant en faisant évoluer les différentes dimensions de celui-ci (normes, acteurs, connaissances...). Cette représentation souligne le caractère transformatif ou non de ces innovations vis-à-vis du modèle dominant.

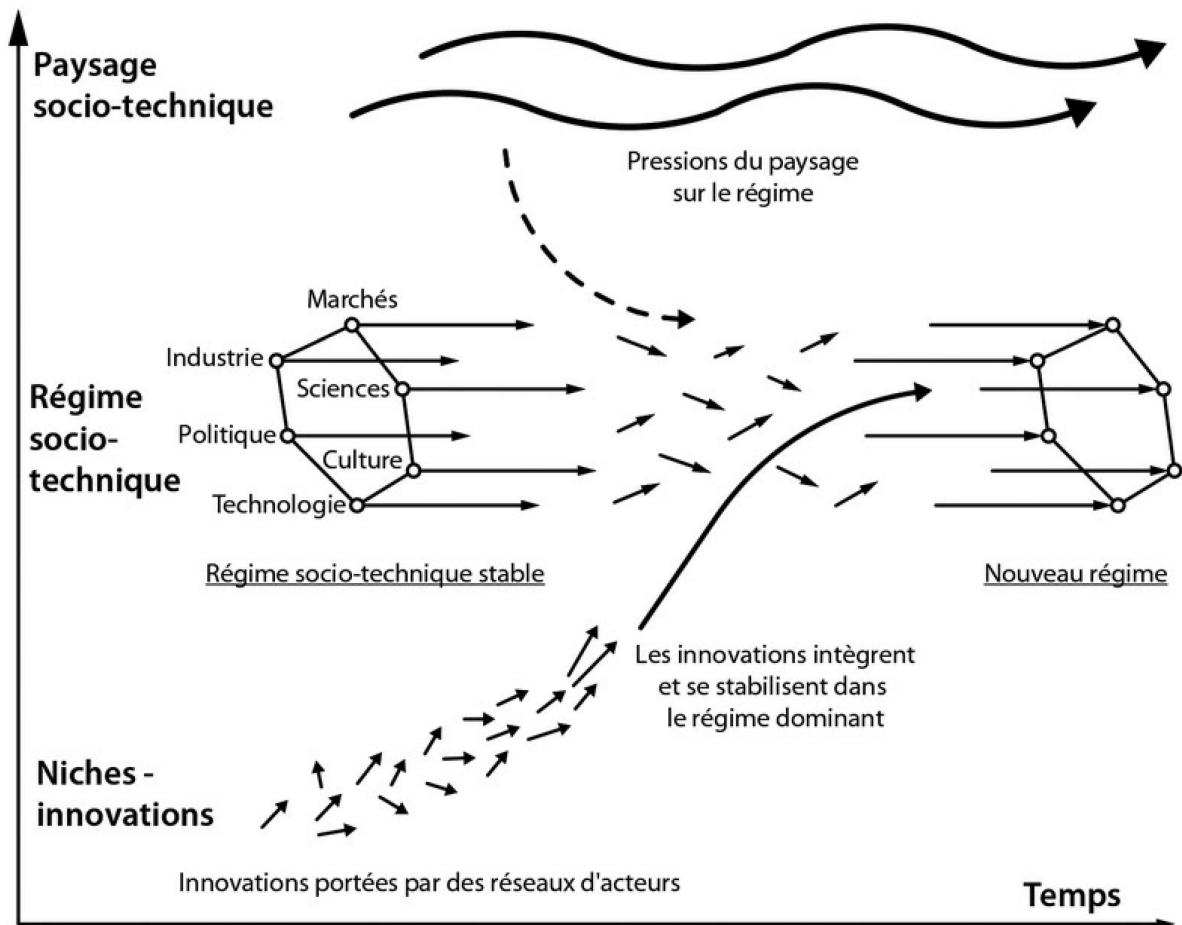


Figure 15.1. Cadre analytique de la perspective multi-niveau de la transition (Geels, 2002).

Les transitions sont considérées ici comme la résultante des interactions entre plusieurs niveaux : le paysage socio-technique qui recouvre l'environnement dans lequel s'inscrit la société, un régime socio-technique stable composé de règles, de pratiques et d'acteurs interdépendants qui orientent ou contraignent les actions des opérateurs, des niches qui sont des espaces où des innovations plus radicales se construisent. Le passage d'un régime socio-technique à un autre est le résultat de pressions exercées par le paysage sur le régime ou l'intégration progressive d'innovations radicales (nouvelles règles, nouvelles pratiques) dans le régime.

L'institutionnalisation récente de la certification participative des produits biologiques est un exemple intéressant pour illustrer ces dynamiques. Conçue comme une alternative, une contre-proposition au système de certification par tierce partie par des acteurs en marge du système agro-industriel (le régime), cette pratique est progressivement reconnue par les acteurs publics et par les consommateurs comme un moyen de garantie de la production agro-écologique. Dans certains pays, cette modalité alternative est inscrite dans les réglementations publiques, qui régissent la

certification des produits biologiques dans le modèle dominant (le régime socio-technique).

Dans cette perspective multi-niveau de la transition, les décideurs publics peuvent également envisager plusieurs leviers d'action. Les actions sur les normes du régime agro-industriel peuvent être complétées par des mesures politiques spécifiques ciblées sur les innovations de niches : un programme de crédit pour la création d'unités de transformation artisanales en milieu rural, par exemple, ou l'appui logistique pour l'installation de marchés de plein vent dans les centres urbains.

Enfin, la notion de régime socio-technique introduit l'idée de verrouillage des systèmes agricoles (encadré 15.1). Des règles, des normes, des acteurs qui constituent le système dominant le rendent stable mais d'une certaine façon le verrouillent (Geels, 2004 ; Vanloqueren et Baret, 2009).

Encadré 15.1. Un exemple de verrouillage socio-technique au Brésil

C. Cerdan

Pour expliquer ce phénomène de verrouillage, nous partirons d'un exemple concret. Au sud du Brésil, de nombreux agriculteurs familiaux sont intégrés à des filières agro-industrielles pour la production de volailles, de porcs ou de tabac. Un contrat lie chaque producteur à l'industrie. Au début de chaque campagne, ces producteurs reçoivent des intrants et s'engagent à produire une quantité donnée d'animaux ou de feuilles de tabac. Le faible revenu obtenu de cette activité ne leur permet pas d'acquérir une autonomie financière et les maintient dans un cycle de dépendance vis-à-vis du système agro-industriel. De plus, la spécialisation régionale limite les opportunités de diversification des activités. En effet, les systèmes de connaissances, l'offre technique fournie par les institutions de recherche ou de développement agricole, les crédits de campagne sont orientés vers la production industrielle présente dans la région. La sortie des agriculteurs familiaux de ce système est alors difficile.

Cependant, d'autres types de politiques peuvent contribuer au déverrouillage de ces systèmes. La politique d'achat des produits de l'agriculture familiale et le programme d'approvisionnement des cantines scolaires en produits agricoles provenant des agricultures familiales ont constitué des opportunités économiques importantes pour une partie des producteurs brésiliens ; ceux-ci ont pu alors rompre leur contrat avec l'industrie et s'orienter vers de nouvelles productions (fruits, légumes, lait). Il est important toutefois de noter

que ces réorientations ont été fortement accompagnées par les mouvements sociaux (ONG) et par des scientifiques et des techniciens, à la recherche de modèles de développement alternatifs pour les régions (Mior, 2005).

L'illustration de ce phénomène au Brésil met en évidence que la transition agro-écologique suppose de nombreux prérequis et différents types d'innovations et mécanismes de déverrouillage du régime socio-technique. Nous en identifions au moins quatre.

Premièrement, la référence à un évènement déclencheur est souvent citée comme point de départ d'un processus de transition agro-écologique. Il peut s'agir d'une crise économique (chute des prix de vente d'un produit agricole), de l'intoxication d'un agriculteur suite à l'usage de produits phytosanitaires ou de l'apparition d'une opportunité économique et sociale dans la région : nouvelles mesures pour l'achat de produits bio, mise en place d'un programme de restauration collective ou d'achat de légumes avec moins d'intrants chimiques, mesure agro-environnementale dans une politique agricole.

Deuxièmement, l'intérêt des consommateurs est un autre prérequis. Depuis les années 1990, une évolution profonde du rapport du mangeur à son alimentation se traduit par la recherche de certaines caractéristiques des produits agricoles, liées à leur mode de production (raisonné, bio, fermier, frais) et/ou à leur origine géographique. La recherche de proximité géographique par le consommateur peut être comprise comme une forme de soutien à l'agriculture de sa région, un moyen de rencontrer et connaître des producteurs ou de minimiser les coûts de transport et de stockage pour des systèmes alimentaires durables (Moustier, 2017). La proximité géographique peut être aussi entendue comme la réaffirmation de l'intérêt des consommateurs à protéger des patrimoines alimentaires et culturels. Ces évolutions donnent lieu à l'émergence et à l'expérimentation de nouvelles modalités d'achat des produits alimentaires. Le consommateur combine une pluralité de modes et de lieux d'acquisition de ses aliments et alterne entre les supermarchés (distants et génériques) et des lieux de distribution proches et spécifiques (marchés de plein vent, boutiques spécialisées, réseaux d'achat alternatifs comme les Amap, les paniers).

En troisième lieu, pour faire de la production agro-écologique ou de la production biologique, l'agriculteur devra s'impliquer dans des processus d'apprentissage et d'expérimentation qu'il conduira de façon individuelle

et/ou collective. Mobiliser les processus agro-écologiques dans son système de production requiert de nouveaux savoirs, le sens de l'observation, une certaine sensibilité à son environnement mais aussi d'établir de nouvelles relations marchandes avec les consommateurs. Devenir membre d'une Amap (association pour le maintien de l'agriculture paysanne), livrer des paniers de produits biologiques à des consommateurs, répondre à des commandes publiques, être membre d'un collectif ou d'une coopérative, faire les marchés de plein vent, établir de nouvelles alliances avec des acteurs de la distribution sont autant d'options possibles. Toutes nécessitent de nouveaux apprentissages organisationnels ou institutionnels.

Enfin, quatrième, il n'est pas facile de faire le pas pour changer de systèmes ! Il arrive que les agriculteurs modifient totalement leur système de production (à l'exemple des producteurs de tabac qui s'orientent vers la production maraîchère au Brésil). Les années de spécialisation ont contribué à la perte de savoirs qu'il faut réactiver. Cela souligne l'importance pour un agriculteur d'être impliqué dans des dynamiques collectives. Le contexte institutionnel et cognitif n'étant pas toujours favorable à la transition agro-écologique, la participation à des échanges d'expériences et de savoirs entre les producteurs est un élément-clé dans le processus de cette transition. Dans de nombreux cas, le projet agro-écologique dans un territoire permet de structurer l'action collective et plus largement de construire une vision d'un avenir partagé : quel paysage, quelle qualité environnementale, quel type d'occupation de l'espace (Lamine, 2017) ?

L'ensemble de ces prérequis et de ces conditions nécessaires au changement est connu par l'analyse fine de nombreuses expériences réussies. Pour avancer dans notre réflexion sur la transition agro-écologique, nous posons l'hypothèse que la contribution de ces dispositifs marchands (niches) à l'évolution du système dominant (régime socio-technique) et à la levée d'une partie des verrouillages dépend de la conception de l'agro-écologie portée par les acteurs engagés. Il est nécessaire de mieux qualifier ces dispositifs marchands et leur positionnement par rapport à la transition agro-écologique. Pour ce faire, nous proposons de décrire plus en détail sept expériences représentant la diversité des initiatives et des dynamiques en cours.

Panorama de dispositifs d'échanges marchands pour une transition agro-écologique

Les initiatives que nous analysons ici sont des innovations marchandes organisationnelles et/ou institutionnelles qui modifient les règles de l'échange des produits. Les cas d'étude comprennent différents gradients dans l'utilisation des processus naturels relativement aux produits chimiques, incluant l'agriculture biologique et l'agriculture raisonnée. Notre réflexion se fonde sur des informations recueillies auprès d'acteurs dans le cadre de projets de développement en partenariat dans plusieurs pays du Sud (Afrique du Sud, Brésil, Laos, Madagascar, Maroc, Vietnam) et sur l'analyse d'une diversité de documents (rapports, articles, textes de lois ou réglementations, sites Web et supports de communication). Ces projets associent des producteurs, des représentants d'organisations professionnelles mais aussi des représentants d'instituts de recherche et de développement rural.

Ecovida au Brésil : un réseau en faveur de l'agro-écologie, en rupture avec le modèle agricole conventionnel

Créée à la fin des années 1990 à partir de l'intégration d'organisations locales qui œuvraient déjà en faveur de l'agriculture familiale et des technologies alternatives, l'organisation Ecovida relie aujourd'hui près de 5 000 exploitations familiales de 200 municipalités issues des trois États du sud du Brésil. Les agriculteurs sont répartis dans près de 300 groupes communautaires, qui composent 30 groupes territorialisés. Ce réseau regroupe également une quarantaine d'organisations formelles : des associations et des coopératives de producteurs et de consommateurs ou des ONG impliquées dans l'appui technique.

Les concepteurs ont défini des valeurs communes. La première est de promouvoir la dimension collective à tous les niveaux, du local au régional. Pour être membre du réseau Ecovida, il faut être rattaché à un groupe de son village ou de sa région. La deuxième valeur est la recherche d'une alternative au modèle agricole dominant porté par la révolution verte, en favorisant les échanges entre des expériences concrètes d'agro-écologie et la mobilisation de savoirs traditionnels des agriculteurs. La

troisième valeur fait le pari de rapprocher le consommateur du producteur. S'il est communément partagé que les producteurs doivent faire évoluer leurs façons de produire des aliments, Ecovida considère que les consommateurs ont aussi besoin d'évoluer en abandonnant leurs comportements « fordistes »^[52] et en cherchant à mieux comprendre la réalité du monde rural. Les foires et les marchés de plein vent sont vus comme d'excellents laboratoires pour recréer un climat de confiance et de solidarité entre producteurs et consommateurs. Les prix sont volontairement modérés pour éviter de confiner les produits biologiques au marché des consommateurs les plus nantis mais aussi pour différer l'entrée de nouveaux producteurs et commerçants dont la motivation ne viendrait que du prix.

La promotion des marchés institutionnels au Brésil (programme d'achat des produits de l'agriculture familiale, programme national de restauration scolaire) et les actions des organisations locales pour multiplier les marchés de plein vent ont été une première étape pour consolider la transition des groupes d'agriculteurs adhérents. Mais ce modèle a des limites. La capacité d'absorption de la production du marché local et des marchés publics (restauration scolaire) n'est pas infinie. Pour faire face à ce problème, le réseau Ecovida a créé un programme de routes solidaires qui vise à faire circuler des camions de produits agricoles frais ou transformés entre les groupes locaux. Dans cette innovation sociale, tous les participants sont membres du réseau et s'engagent à acheter ou échanger (troc) des produits venant des autres groupes. Cela favorise la diversification de l'offre en produits sur les marchés locaux et diminue le coût de transport, dans la mesure où les camions ne reviennent jamais à vide. Dans un souci de transparence et de justice, les termes des échanges et les volumes sont notifiés et accessibles à tous. Huit circuits de commercialisation solidaires sont actuellement en place et transportent plus de 74 produits différents, ce qui représentait un volume en 2012 de 831 tonnes et un chiffre d'affaires de 1,5 million de reais (400 000 €).

Enfin, le réseau Ecovida est surtout connu pour son implication dans l'institutionnalisation d'une certification alternative : le système participatif de garantie. Au départ, il s'est opposé au modèle de certification par tierce partie (intervention d'un organisme certificateur) mis en place par le gouvernement du Santa Catarina considérant qu'il ne respectait pas l'histoire des paysans pionniers et des organisations qui adoptaient déjà des méthodes biologiques dans la région. Des alliances

avec les États partenaires du Sud ont contribué à dessiner le modèle de certification participative. Ce système d'assurance qualité certifie les produits biologiques sur la base d'une participation active des acteurs concernés. Il est construit sur une base de confiance, de réseaux et d'échanges de connaissances (Ifoam, 2008).

On retrouve les valeurs du réseau Ecovida dans ce système alternatif de certification, notamment le rôle central du collectif (comme garant de la qualité et de la construction de la différence) et l'importance des apprentissages par l'échange d'expériences et les visites croisées entre pairs. Les représentants de ce réseau ont ensuite été largement impliqués dans la construction de la loi brésilienne sur la production biologique. Leurs expériences et actions ont contribué à faire reconnaître par la loi trois modalités de certification de la production biologique : la certification par tierce partie, le système de garantie participatif et l'organisation de contrôle social pour la vente directe (loi 10.831/2003).

Au Maroc, un système participatif pour construire et gérer un label d'agro-écologie

Suite à l'émergence du concept de système participatif de garantie en 2004 et à sa première définition en 2008 au sein des membres de la Fédération internationale des mouvements de la bio (Ifoam), de nombreux acteurs locaux et internationaux se sont emparés de cet outil pour promouvoir l'agro-écologie. Dans de nombreux pays en développement, ces outils sont portés par les ONG ou par les États pour soutenir les communautés de petits producteurs et leur offrir de nouveaux revenus au travers des marchés biologiques.

Au Maroc, le label de l'agriculture biologique, défini dans la loi 39-12 du 16 janvier 2013, n'est pas encore disponible pour les producteurs par manque de décrets. Ce sont donc les labels européens et américains qui sont actuellement utilisés par les producteurs qui veulent signaler leurs engagements écologiques dans leur production. Mais le coût élevé de certification pour ces labels les rend inadaptés pour la vente de production sur le territoire national. Les premières réflexions sur le système participatif de garantie et la mise en place d'un label local ont d'abord commencé localement en 2011, au sein du réseau national des initiatives en agro-écologie, constitué récemment en association (le Réseau des

initiatives agro-écologiques au Maroc ou Riam). Les membres actifs de cette association sont avant tout des agronomes, des producteurs néoruraux, ou des consommateurs avertis, de la classe moyenne marocaine ou binationaux. Conscients des problèmes environnementaux et de santé publique que l'agriculture conventionnelle au Maroc génère, il leur est apparu essentiel de constituer un réseau d'échanges de pratiques agro-écologiques et d'identifier ces modes de production. Le réseau a d'abord soutenu à partir de 2016 la mise en place de marchés paysans écosolidaires qui promeuvent l'agro-écologie dans plusieurs villes du Maroc (Mohamedia, Casablanca, Marrakech, Rabat).

Néanmoins, la nécessité pour les consommateurs de se fier à un signe de qualité et pour les producteurs de se référer à un cahier des charges commun est devenu pressante. Les réflexions sur le système participatif de garantie n'ayant pas abouti en 2011, par manque de temps des acteurs bénévoles du réseau, c'est grâce à l'opportunité d'un partenariat avec le Cirad en 2017 qu'il finit par voir le jour, dans un premier temps dans la région de Rabat. Pour accompagner la construction d'un référentiel commun, le Cirad a utilisé différentes méthodes participatives incluant les différents acteurs concernés (producteurs, consommateurs, épiciers, restaurants, etc.) (Lemeilleur et Allaire, 2018). Au-delà du modèle de garantie lui-même, qui entend générer progressivement des échanges techniques au sein des groupes locaux et lors des visites de contrôle, la construction du référentiel au travers de ces méthodes inclusives a permis un premier enrichissement des connaissances collectives et le renforcement du réseau local autour de l'agro-écologie. Cet outil apparaît pour certaines institutions locales comme une opportunité pour développer l'agro-écologie dans l'attente (ou en parallèle) d'un système public actif. Néanmoins, cet intérêt ne dit rien sur l'appui public que pourrait recevoir cette alternative demain au Maroc.

Agreco à Santa Rosa de Lima au Brésil : une production biologique insérée dans un panier de biens et de services territorialisés

Agreco est un exemple de succès d'une démarche collective de production agro-écologique au Brésil autour d'un panier de biens[53]. L'association voit le jour en 1996, dans un contexte de crise agricole qui, associé à l'isolement des exploitations, à l'exode rural et à la recrudescence de

problèmes de santé liés à l'utilisation d'intrants chimiques, conduit la société civile et le gouvernement local à s'interroger sur de nouvelles solutions de dynamisation du territoire. Agreco est le fruit d'un pari : celui d'un propriétaire d'une chaîne de supermarchés, originaire de la région, qui propose à une poignée de producteurs un espace de commercialisation différencié dans ses linéaires pour du miel et des fruits et légumes biologiques. Le succès de la démarche est immédiat. Le besoin d'accroître la production biologique, initialement limitée à la commune de Santa Rosa de Lima, pousse l'association à se rapprocher de neuf autres communes. En 1998, Agreco compte 211 familles, 500 personnes et 26 agro-industries familiales (transformation de légumes, canne à sucre, produits laitiers, miel, conserves, œufs et boulangerie). Le renforcement des institutions locales et la mise en place de partenariats avec le gouvernement permettent à l'association de diversifier son rayon d'action.

Trois périodes successives se distinguent dans le processus de transition. La première correspond à l'introduction de la production biologique dans la région et à la structuration d'une identité territoriale forte. La deuxième suit le début de la production biologique et voit se développer les agro-industries qui en transforment les produits ; la transformation des produits a été un facteur de viabilisation de l'expérience, dans la mesure où elle a permis de diversifier les formes de commercialisation des produits issus de l'agriculture biologique. L'arrivée, sur le marché de la distribution, de produits frais et biologiques, issus de nouvelles organisations d'agriculteurs plus proches de la capitale, a obligé les agriculteurs de Santa Rosa à investir dans la transformation de leur production. Les infrastructures routières à cette époque (routes de terre) ne leur permettaient pas de fournir des produits frais en bon état. Cet essor rapide s'est fait grâce à la mobilisation de ressources financières, accessibles au travers du programme public d'appui à l'agriculture familiale, à la mobilisation d'un réseau de personnes compétentes et à la professionnalisation des producteurs. La troisième période correspond au moment où l'offre a commencé à devenir excédentaire par rapport à la demande. Les responsables du projet avaient une vision ambitieuse et inclusive, avec pour objectif d'obtenir un impact important en termes de création d'emplois et de revenus pour la région. Il a fallu rechercher les moyens de conquérir de nouveaux marchés (supermarchés, restaurants scolaires, vente directe *via* la livraison de paniers aux consommateurs) et de diversifier les activités sur le territoire (accueil paysan, agrotourisme, formation).

En parallèle, d'autres initiatives collectives se mettent en place et pérennisent le processus de transition avec la création d'une coopérative de crédit, d'une coopérative de professionnalisation en développement durable et d'un centre de formation. Les produits sont certifiés par Ecocert-Brésil et porteurs de la marque collective Agreco. Ils sont disponibles dans de grandes chaînes de supermarchés dans les principaux centres urbains de Santa Catarina, ainsi qu'à São Paulo et Rio de Janeiro.

Au-delà du changement technique qu'a représenté l'introduction de systèmes de production des fruits et légumes agro-écologiques (et notamment biologiques), les porteurs du projet ont diversifié les activités et les services. Les producteurs et les acteurs du territoire ont acquis de nouveaux métiers, appris à raisonner à l'échelle d'un territoire et non plus à l'échelle de leur exploitation. Ils ont également investi dans de nouvelles formes de gestion, ont proposé de nouvelles formes de régulation territoriale. Ils assument aujourd'hui de nombreuses fonctions collectives et jouent de nouveaux rôles dans la sphère publique. Deux éléments sont frappants dans ce schéma : son caractère inclusif et l'absence de remise en cause des circuits de commercialisation et de certification par tierce partie. Cette certification était imposée par les supermarchés de la capitale et les producteurs ont préféré s'aligner sur cet impératif pour maintenir leur insertion dans ce marché. Le changement d'échelle s'est traduit dans ce cas par une importante diversification des marchés et des activités.

Les légumes « propres » de montagne au Vietnam

Au Vietnam, dans le district de Moc Chau, à 150 km de Hanoi, dans une zone de moyenne altitude (600-900 m), des groupes de producteurs de légumes « propres » ont été mis en place depuis 2011, pour subvenir aux besoins en légumes de la capitale, en particulier pendant l'été où les conditions de chaleur et d'humidité du delta du fleuve Rouge ne permettent plus la production de légumes. La ville de Hanoi, sous l'impulsion d'une population urbaine croissante, aux revenus en augmentation, et exigeante en matière de sécurité sanitaire des aliments, cherchait de nouvelles zones d'approvisionnement, la ceinture périurbaine étant devenue polluée et convertie en zone de construction. Sous l'auspice d'un projet de recherche-développement, financé par l'Aciar (Australian Centre for International Agricultural Research), cette filière de légumes propres certifiée de Moc Chau a vu le jour. Plusieurs composantes ont

permis le succès de cette démarche.

Tout d'abord, des producteurs ont été formés aux méthodes de production de légumes propres selon les standards en vigueur au Vietnam, soit la norme VietGAP (adaptation vietnamienne de la norme *Global GAP*), soit la norme « Légumes propres » (moins contraignante en termes de tenue de registres), pour la production de tomates, choux, salades, haricots, etc. En particulier, les producteurs ont bénéficié de semences de meilleure qualité. Un suivi permanent au champ était apporté par le projet, ainsi qu'une formation à la tenue des livres de suivi de production (*farm book keeping*).

Ont été établies aussi une analyse du marché et une mise en relation des producteurs de Moc Chau avec les distributeurs à Hanoi (supermarchés et magasins spécialisés en produits sûrs). En 2013, 230 tonnes de légumes étaient ainsi vendues à Hanoi aux supermarchés (*Fivimart, Metro, Oceanmart*) et aux magasins spécialisés en produits sûrs (*BigGreen*) (Sautier et Nguyen, 2016).

Une coordination a en outre été mise en place, sous une forme horizontale entre les producteurs organisés en groupes d'intérêts et pour certains en coopératives, et sous une forme verticale, du fait du fort engagement des autorités locales du district de Moc Chau et du nouveau district de Van Ho (créé lors de la scission du district de Moc Chau en deux districts distincts, tous deux dans la Province de Son La) au développement de la filière. Les consommateurs, collecteurs et distributeurs ont également été associés aux réflexions de développement de la filière, invités aux diverses réunions du projet sur place.

Enfin, la valorisation de l'origine Moc Chau comme zone de production de légumes propres s'est faite à travers l'enregistrement d'une marque de certification qui associe l'origine Moc Chau et le respect des standards d'agro-écologie VietGAP et de Légumes propres. Bien que le Vietnam dispose d'une législation sur les indications géographiques et de plus de 60 indications enregistrées en 2018, l'absence de qualité sensorielle spécifique des légumes cultivés à Moc Chau, due en partie à la culture très récente de légumes sur ce terroir, et le grand nombre de légumes visés (19), ont fait pencher le choix vers une marque de certification. En effet, la marque de certification permet de garantir le respect des règles de production par un mécanisme de contrôle et de certification mis en œuvre par le propriétaire de la marque, qui n'est pas lui-même producteur. La marque collective, autre instrument disponible dans la loi vietnamienne,

exigeait l'existence d'une association collective de tous les producteurs de légumes, ce qui n'est pas le cas, les producteurs étant organisés sous forme de plusieurs groupes.

Au Vietnam, en 2017, 181 marques de certification ont ainsi été enregistrées par les autorités locales au niveau des districts ou des Provinces pour valoriser leurs produits (source, office national de la Propriété intellectuelle, NOIP), comme par exemple la marque de certification « Légumes sûrs de Dalat », région du sud du Vietnam réputée pour sa production de légumes, qui sert de modèle au développement de la filière légumes à Moc Chau. Le propriétaire est alors l'autorité locale qui est en charge de la mise en œuvre du contrôle de tous les producteurs. Dans le cas de la marque de certification de Moc Chau, le logo comprend la dénomination « Légumes sûrs de Moc Chau », en vietnamien et en anglais, assortie de la représentation des montagnes de ce district, surtout connu pour ses productions de thé et de produits laitiers. Enregistrée en 2016 par l'office national de la Propriété intellectuelle au nom du Comité populaire du district de Moc Chau, le règlement d'usage de la marque (décision 345/2014/QĐ-UBND du 18 septembre 2014 du People's Committee of Moc Chau district) prévoit que celle-ci peut être utilisée pour les légumes cultivés dans la zone délimitée des districts de Moc Chau et Van Ho et répondant aux normes Légumes propres (circulaire 59/TT-BNNPTNT du 9 novembre 2012 du ministère de l'Agriculture et Développement rural) ou VietGAP. Le respect de ces normes fait l'objet d'un contrôle par le National Agro-forestry-fisheries Quality Assurance Department (Nafiqad), du département de l'Agriculture et du Développement rural (DARD) de la Province de Son La (Marie-Vivien et Vagneron, 2017), ou bien par tout autre organisme de certification accrédité pour VietGAP. Le DARD du district de Moc Chau est en charge de la gestion de la marque « Légumes propres » et autorise les producteurs de Moc Chau et de Van Ho à utiliser cette marque, organise la collecte aléatoire d'échantillons pour les tests en laboratoire et contrôle l'origine des légumes pour vérifier qu'elle est dans la zone de production délimitée.

Le logo est déjà utilisé depuis plusieurs années sur les emballages de légumes. Cela n'est pas sans poser d'ailleurs la question de l'utilisation d'emballages polluants, alors que les légumes sont traditionnellement vendus en vrac. Cela explique également que les débouchés soient essentiellement les supermarchés et les magasins spécialisés.

La deuxième phase du projet commencée en 2017 a pour objectif d'étendre cette filière « Légumes propres » certifiée à d'autres producteurs, au-delà de la cinquantaine de producteurs déjà engagés et des trois villages pilotes, à la fois auprès de producteurs déjà engagés dans la culture de légumes en conventionnel mais aussi auprès de producteurs abandonnant la culture du maïs pour celle des légumes propres, plus rémunératrice car répondant à la demande exponentielle des consommateurs urbains, mais qui demande un réel et double savoir-faire pour la production de légumes et la culture en mode raisonné. Cet élargissement permettra de consolider la réputation de Moc Chau comme zone de culture en agro-écologie, valorisée à travers une marque. Ou comment les attributs agro-écologiques remplacent les qualités organoleptiques pour asseoir la réputation géographique d'une filière.

Valoriser la production agro-écologique malgache par la vente de paniers de légumes à domicile

À Antananarivo (Madagascar), l'agriculture périurbaine fournit la majeure partie des produits maraîchers consommés dans la métropole. Le système alimentaire dominant est de type traditionnel, avec plus de 50 000 exploitations familiales dans la grande ceinture périurbaine^[54] et un réseau dense de collecteurs, grossistes, demi-grossistes et détaillants qui approvisionnent les marchés urbains. Ce modèle fait face au défi de la croissance urbaine : demande en progression constante, pression croissante sur les usages du foncier, pollution urbaine affectant l'agriculture. Les produits maraîchers sont particulièrement touchés par des problèmes de qualité sanitaire (usage excessif et mal maîtrisé d'intrants chimiques) et par les pertes liées à la dégradation des légumes lorsque l'écoulement n'est pas assez fluide. Au cours de ces dernières années, quelques rares projets privés de maraîchage agro-écologique, essentiellement biologique, ont émergé. Ils sont portés principalement par des entrepreneurs d'origine européenne et visent une frange de population aisée.

Pour promouvoir la petite agriculture familiale, qui représente l'essentiel des structures de production dans les Hautes Terres malgaches, des ONG se sont engagées, depuis plus d'une décennie, dans la mise au point et la diffusion de pratiques agro-écologiques dans le secteur maraîcher (notamment Agrisud international, Agronomes et vétérinaires sans frontières, Fondation pour l'épanouissement et le renouveau de la Terre).

L'objectif de produire des légumes sains (propres) est associé à ceux d'améliorer les revenus des producteurs agricoles, contraints pour la plupart par de très faibles disponibilités foncières (entre 5 et 16 ares de maraîchage par exploitation pour la majorité), et d'améliorer l'offre pour les consommateurs urbains, en qualité, quantité et diversité.

Agrisud est notamment engagé depuis début 2015 dans le programme d'appui à l'agrosylviculture autour d'Antananarivo, dans le cadre d'un financement européen. La démarche passe par la formation d'un millier de producteurs *leaders* aux pratiques agro-écologiques, dont près de la moitié ont été formés pour transmettre ces techniques aux producteurs de leur entourage, avec pour objectif de former au total 5 000 producteurs en quatre ans. Parallèlement, une cinquantaine de collecteurs locaux a bénéficié d'un appui en fonds de roulement et en renforcement des capacités de gestion. En aval, l'un des objectifs est de réduire le nombre d'intermédiaires et de valoriser les produits agro-écologiques, afin d'améliorer les marges des producteurs. Dans un premier temps, deux points de vente promouvant la différenciation de leurs produits ont été établis. Très rapidement, compte tenu des faibles volumes écoulés sur ces points de vente, un système pilote de paniers et livraisons à domicile a été mis en place.

Par ailleurs, pour améliorer l'articulation entre les producteurs et les commerçants appuyés par le projet, des structures de coordination (organisations locales) sont en cours de constitution, depuis fin 2017. L'objectif est de mettre en relation un collectif de producteurs (quelques dizaines) avec un (ou deux) collecteurs, afin de sécuriser l'écoulement de la production et de faciliter la traçabilité de la qualité des produits. Dans chaque dispositif, producteurs et commerçants établissent conjointement un plan d'action, avec l'appui de techniciens, définissant une programmation des cultures pour les mois suivants, les besoins en semences, en petit matériel et, le cas échéant, en formations. Ces dispositifs ont été conçus pour être à court terme des pivots entre le projet et les bénéficiaires, et pour permettre progressivement l'autonomisation des collectifs de producteurs et de collecteurs. Ces collectifs sont au cœur des processus d'apprentissage technique, avec l'accroissement du savoir-faire des producteurs-formateurs et des échanges d'expériences entre membres. Ces processus d'apprentissage de l'action collective impliquent des producteurs et des collecteurs, ils concernent non seulement les compétences agronomiques mais également les capacités à valoriser les

opportunités de marché. Ainsi, par exemple, les suggestions des collecteurs et la possibilité d'obtenir des semences de qualité *via* le projet ont conduit les producteurs à introduire dans leur programmation de campagne des légumes de niche habituellement peu cultivés (chou rouge, brocoli, chou pe-tsaï),

Dans un contexte de transition vers une production agro-écologique, qui exige une maîtrise progressive des pratiques, la question de la qualification et de la classification des produits se pose. Un système participatif de garantie a été initié sur la base de fiches individuelles de production, transmises du producteur aux acteurs de l'aval. Mais trop complexe à mettre en œuvre, le système est en cours d'évolution, en proposant une appréciation plus générale de la qualité au niveau des organisations locales.

La démarche a été initiée récemment et le processus est en cours. D'un point de vue organisationnel, le défi des dispositifs est d'ajuster le degré d'engagement mutuel, dans un contexte où une contractualisation trop contraignante aurait peu de chances d'être tenable, compte tenu de la multiplicité des acheteurs et des vendeurs. Un autre défi est de s'adapter aux spécificités géographiques locales : d'une part, les zones les plus proches de la ville et des marchés, où la priorité est d'améliorer la qualité sanitaire des produits alors que l'écoulement est relativement aisé ; d'autre part, des zones de production plus enclavées, moins soumises à des contraintes de pollution et d'urbanisation, mais où les difficultés d'accès peuvent être allégées par une bonne coordination avec les acteurs de l'aval. Un troisième défi est d'ajuster le niveau de garantie et l'image des produits, en fonction du degré de maîtrise agro-écologique des producteurs et des marchés ciblés. En effet, l'enjeu n'est pas seulement de fournir des produits exempts de résidus chimiques, mais également d'assurer la diversité et l'étalement de l'offre, et un accès pas seulement réservé à la population la plus aisée. Dans un contexte où les problèmes de qualité sanitaire des produits sont avérés, mais où la sensibilité des consommateurs n'est qu'émergente, le concept relativement souple d'agro-écologie permet d'améliorer progressivement la qualité des produits, en réduisant les risques sanitaires majeurs mais sans proscrire totalement l'usage de produits phytosanitaires chimiques.

L'institutionnalisation de l'agriculture biologique au

Laos

Petit pays enclavé et faisant partie de la catégorie des pays les moins avancés, le Laos fait quasiment figure d'exception en Asie du Sud-Est en s'étant doté d'un cadre institutionnel complet pour le développement de l'agriculture biologique vers le milieu des années 2000. Dès 2004, le projet Profil (*Promotion of Organic Farming and Marketing in the Lao PDR*), soutenu par l'ONG suisse Helvetas et le ministère laotien de l'Agriculture et des Forêts (MAF), jette les bases de l'agriculture biologique en mettant en place : les premiers groupements de producteurs de riz et de légumes biologiques (2004) ; les premières normes nationales pour l'agriculture biologique basées sur les normes proposées par la Fédération internationale des mouvements de l'agriculture biologique (2005) ; le premier marché de producteurs (2006) ; l'agence de certification nationale (Lao Certification Body) et le Centre de développement de l'agriculture propre (2008) dont l'objectif est de promouvoir différentes formes d'agriculture durable.

En termes de politiques publiques, la Stratégie pour le développement agricole 2011-2020 au Laos souligne le potentiel que représente l'agriculture biologique pour les petits producteurs tandis que les plans de développement socio-économique nationaux 2006-2010 et 2011-2015 promeuvent l'agriculture durable (bonnes pratiques agricoles, agriculture biologique), présentée comme un moyen d'améliorer la performance environnementale et sociale de l'agriculture tout en intégrant les petits producteurs pauvres dans des filières à haute valeur ajoutée. En 2014, le Laos adopte une Stratégie nationale pour l'agriculture biologique et en 2015 un Plan stratégique pour le développement de l'agriculture biologique. Cet engouement ne se fait pas sous la seule égide du ministère de l'Agriculture et des Forêts, mais résulte de multiples collaborations entre le gouvernement laotien et les organisations internationales (Banque asiatique de développement, FAO), les agences de développement bilatérales (Agence de coopération japonaise, Jica) et les ONG internationales (Oxford Committee for Famine Relief, Oxfam) et nationales (Sustainable Agriculture & Environment Development Association, Saeda) dans le cadre de projets de développement plus ou moins bien coordonnés et articulés.

Selon le Ministère, près de 8 000 hectares étaient certifiés en agriculture biologique en 2016. Sur ces surfaces, 81 % étaient certifiées par le Lao

Certification Body et 19 % par ACT (organisme de certification thaïlandais accrédité pour la certification des normes internationales). Le riz représentait 58 % des surfaces certifiées et le café (principal produit d'exportation) représentait 9 % des surfaces certifiées par le Lao Certification Body mais près de 45 % des surfaces certifiées par ACT.

L'agence de certification nationale n'étant pas accréditée pour certifier les normes internationales, le marché national est un débouché majeur pour la production nationale de riz et de légumes en particulier. Les marchés de producteurs biologiques de Vientiane sont organisés par un comité élu par le Ministère et composé de représentants des groupements de producteurs de produits biologiques de plusieurs districts de Vientiane (Saysettha, Sikhottabong, Sisattanak et Xaythany). Ces groupements certifiés par le Ministère produisent et commercialisent environ 221 tonnes de légumes par an, ainsi que des engrais biologiques, plantent des arbres fruitiers et organisent des formations pour leurs membres.

Les ventes de produits issus de l'agriculture biologique sur les marchés de producteurs ont significativement augmenté au cours des dernières années : le chiffre d'affaires du marché de That Luang est ainsi passé de près de 25 millions de kips laotiens (LAK)/jour en 2008 (1 900 €) à 35 millions LAK/jour en 2012 (3 250 €). En 2016, le volume total de légumes vendus au marché de That Luang était estimé à 4-5 tonnes par jour pendant la saison des pluies et à 8 tonnes par jour pendant la saison sèche (Wongpit *et al.*, 2016). Des marchés de producteurs ont également été créés en 2011 dans la Province du Xieng Khouang, sous l'égide des services agricoles locaux et d'une ONG locale (Saeda), et à Luang Prabang, à l'initiative du projet Tabi (*The AgroBiodiversity Initiative*) et des services agricoles provinciaux.

En 2015, un projet régional, financé par la FAO, promeut des systèmes de garantie participatifs afin d'aider les petits producteurs à mieux bénéficier de l'essor de l'agriculture biologique. Ces systèmes sont destinés à être un moyen pour les producteurs : de construire une relation de confiance entre producteurs et consommateurs, de se connecter au marché local et de s'impliquer dans la vente collective. Le gouvernement soutient activement la mise en œuvre de ces systèmes de garantie qu'il reconnaît ; les producteurs sont autorisés à utiliser le logo national (fig. 15.2) et sont accompagnés *via* une forte implication des fonctionnaires du Ministère à l'échelle locale.



Figure 15.2. Le logo national pour la production organique au Laos.

Plus récemment encore, d'autres initiatives comme la vente directe de paniers de légumes biologiques ont vu le jour dans les environs de Vientiane. Ces différentes initiatives illustrent le rôle joué par les dispositifs d'échange alternatifs dans l'essor de l'agriculture biologique au Laos. Ces dispositifs s'appuient sur un intérêt croissant des populations locales pour une alimentation saine et de qualité, et montrent qu'en l'absence d'accès aux marchés d'exportation, un marché local peut se développer, reposant sur le renforcement des liens entre producteurs et consommateurs et sur des processus d'apprentissage collectifs à l'échelle locale.

Le rooibos : une indication géographique pour valoriser des pratiques agro-écologiques en Afrique du Sud

Le cas du rooibos illustre comment les indications géographiques (IG), fondées sur un processus local de codification des pratiques, offrent des outils pour valoriser des pratiques agro-écologiques. Issu d'une plante endémique du *fynbos* (écosystème de savanes sèches, riche en biodiversité endémique) en Afrique du Sud, le rooibos marque largement les paysages de son territoire de production et l'économie locale. L'objet premier de la mise en place d'une IG pour le rooibos au milieu des années 2000 est de répondre à la menace d'appropriation de son nom[55]. Cultivé depuis les années 1930, ce produit est largement consommé nationalement d'abord, puis dans un nombre croissant de pays depuis les 20 dernières années. Combinant des pratiques indigènes khoïkhoïs et afrikaners, il est ancré dans le patrimoine sud-africain et représente un produit emblématique pour initier des démarches d'IG dans ce pays. Accompagnés par des acteurs de la recherche locaux et internationaux (université de Pretoria et Cirad) ainsi que par le département provincial de l'Agriculture du Western

Cape, les acteurs de la filière se sont mobilisés pour établir une IG et la faire reconnaître nationalement et auprès de l'Union européenne. Cette dernière constitue en effet un marché important pour ce produit et la reconnaissance comme IG dans cet espace est considérée par les acteurs de la filière comme la meilleure garantie de protection de leur produit et de son nom. Un long travail de négociation s'est alors engagé pour établir le cahier des charges.

L'IG portant sur le nom du produit commercialisé par tous les producteurs, la discussion a donc été élargie à l'ensemble des pratiques. Or le rooibos, culture traditionnellement pratiquée de manière extensive, a connu ces 20 dernières années une forte expansion de sa zone de production associée à une intensification marquée des pratiques. Des acteurs externes porteurs des enjeux environnementaux se mobilisent donc pour conserver la biodiversité. Ils incitent les agriculteurs à réduire l'impact environnemental de la culture du rooibos, notamment *via* la labellisation des pratiques. Dans le même temps, les négociations sur le cahier des charges de l'IG ont fait ressortir que, pour les acteurs de la filière, l'enjeu n'est pas seulement la protection du nom. En effet, les dynamiques récentes d'expansion et d'intensification menacent à la fois la qualité du rooibos et la biodiversité qui est partie intégrante de son territoire de production. Cela conduit à inclure dans les réflexions sur l'IG la démarche de labellisation portée par les acteurs environnementaux et à intégrer dans les pratiques à valoriser et faire reconnaître, *via* l'IG, les enjeux de gestion de la biodiversité. Cette ouverture dans la négociation du cahier des charges aux questions de biodiversité permet alors de mieux qualifier les différentes pratiques et leurs impacts. La position qui prévalait initialement d'adopter un cahier des charges minimal, reflet du souci d'inclusion de l'ensemble des acteurs, est ainsi dépassée. Différentes pratiques agro-écologiques sont intégrées dans le cahier des charges, contribuant à une meilleure qualification du rooibos : établissement de corridors à l'intérieur des exploitations pour les agriculteurs en monoculture de rooibos cultivant plus de 50 % de leurs terres, bandes de végétations intercalaires dans les champs cultivés.

Le processus d'établissement de l'IG, en tant que norme négociée localement et sanctionnée par le marché, ouvre des espaces locaux de médiation (Biénabe *et al.*, 2009). *Via* le processus de négociation locale, les acteurs de la filière avec les acteurs porteurs des enjeux environnementaux ont ainsi rendu explicites les liens entre qualité du

produit et processus agro-écologiques dans les systèmes de production, jouant un rôle-clef dans la reconnaissance et la possibilité de diffusion des pratiques agro-écologiques, d'une part au moment de l'établissement de la norme (socialisation des pratiques), et d'autre part, *via* sa mise en œuvre une fois l'IG enregistrée.

Cependant deux points sont à relever dans le processus de valorisation de l'agro-écologie par une indication géographique. Les pratiques agro-écologiques doivent être explicitement reconnues comme contribuant à la qualité ou à la réputation du produit valorisé par l'IG pour être légitimées dans le cahier des charges. Cela dit, cette contribution peut être très différente en fonction des produits et des territoires, et c'est là tout l'intérêt de la construction locale de la norme associée à l'IG. Il est important de noter également que le processus de construction de l'IG rooibos s'est déroulé sur plusieurs années et qu'il est le fruit de la participation effective des acteurs impliqués directement ou indirectement dans la filière, dans toute leur diversité. En effet, le processus a été porté par l'interprofession du rooibos accompagnée par des acteurs de la recherche ayant une expertise sur les IG, des ONG appuyant les petits producteurs et des acteurs porteurs des enjeux environnementaux. La présence d'arènes et d'acteurs favorisant la mise en débat et les arbitrages collectifs est essentielle pour que les IG intègrent la complexité des enjeux et promeuvent dans la durée des systèmes de production localisés spécifiques et agro-écologiques.

Principaux enseignements de ces expériences

Les expériences ci-dessus confirment que l'agro-écologie n'est pas une donnée mais une construction plurielle du fait de multiples usages et usagers, ainsi que de ses déclinaisons.

Les sept cas étudiés montrent le couplage entre les pratiques agro-écologiques (en agriculture biologique ou raisonnée) et une valorisation marchande qui cherche le rapprochement avec l'utilisateur final *via* une diversité de circuits de commercialisation (tab. 15.1) : vente directe au consommateur, sur des marchés paysans ou par de la livraison à domicile, ou à des détaillants attentifs à la qualité comme des supermarchés, des magasins spécialisés, de la restauration collective, ou des exportateurs. Ces initiatives sont aussi adossées à des systèmes de certification de la qualité.

Tableau 15.1. Valorisation marchande et contrôle de qualité des pratiques agro-écologiques.

	Type de production	Commercialisation	Contrôle de qualité
Ecovida, Brésil	Agro-écologie	Marchés paysans, restauration collective	Système participatif de garantie
Riam, Maroc	Agriculture biologique	Marchés écosolidaires	Système participatif de garantie
Agreco, Brésil	Agro-écologie	Supermarché, vente directe, agrotourisme	Ecocert
Moc Chau, Vietnam	Agriculture raisonnée	Supermarchés, magasins spécialisés	Marque de certification
Agrisud, Madagascar	Agro-écologie	Paniers	Système participatif de garantie
Bio, Laos	Agriculture biologique	Marchés paysans	Certification <i>Laos Organic</i>
Rooibos, Afrique du Sud	Agriculture raisonnée	Exportation vers l'Europe	IG

De plus, les approches de l'agro-écologie se distinguent par le discours politique, les slogans, le positionnement idéologique des acteurs qui la soutiennent et leurs pratiques. En simplifiant, une première approche de l'agro-écologie repose sur des principes fondés non seulement sur la gestion de processus écologiques pour produire des services environnementaux mais aussi sur des dimensions sociales (Baret, 2017). Cette agro-écologie — appelée aussi « agro-écologie forte » — se positionne en rupture avec le modèle de développement conventionnel, au travers de systèmes alimentaires alternatifs en butte avec le modèle dominant. À l'opposé, « l'agro-écologie faible » est souvent controversée par les tenants de la première approche qui la considèrent comme un simple « verdissement » de l'agriculture conventionnelle par l'adoption de quelques pratiques, sans référence aux principes fondateurs de l'agro-écologie. Cette conception adaptative de la transition agro-écologique intègre en effet des pratiques visant à plus de durabilité environnementale mais ne remet pas en cause le régime socio-technique en place. Les recommandations portent essentiellement sur des pratiques nouvelles ou correctives visant à diminuer l'impact environnemental de certaines

productions.

La lecture de ces différentes expériences de mise en marché confirme cette diversité de situation en relation avec la taille et les objectifs des collectifs impliqués, les valeurs qu'ils portent, leur modalité et leur degré d'institutionnalisation (encadré 15.2 et fig. 15.3).

Encadré 15.2. Diversité des dispositifs d'échanges se revendiquant de l'agro-écologie

C. Cerdan, E. Biénabe, H. David-Benz, S. Lemeilleur, D. Marie-Vivien, I. Vagneron, P. Moustier

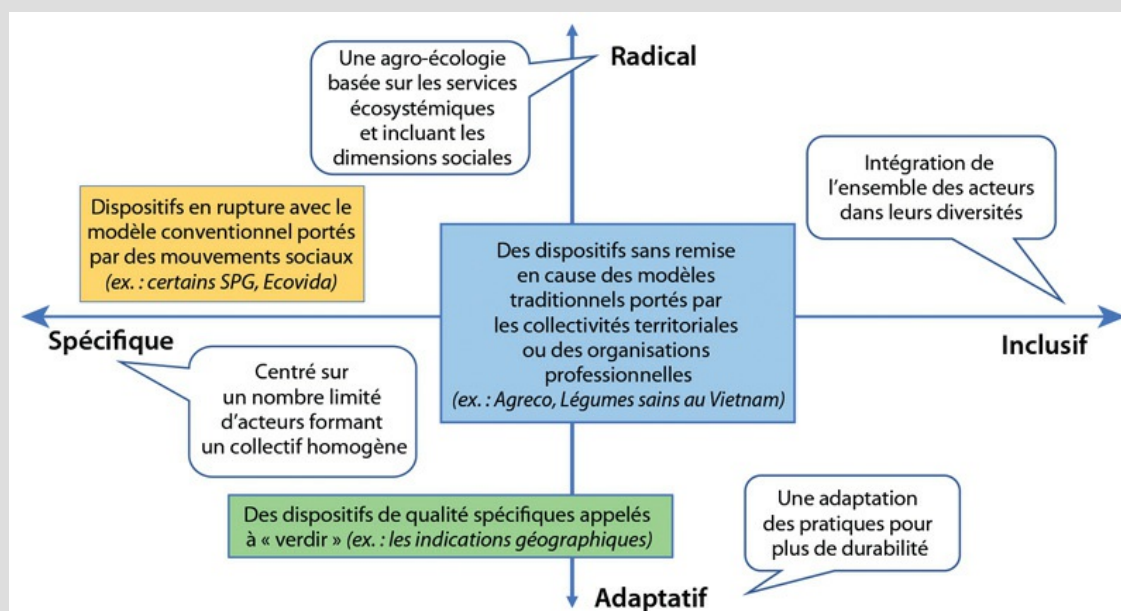


Figure 15.3. Diversité des dispositifs d'échanges se revendiquant de l'agro-écologie (d'après Baret, 2017).

Dans le quadrant « radical et spécifique », nous retrouvons les dispositifs marchands portés par un groupe d'acteurs homogènes relativement réduit. Le projet de ces acteurs s'appuie sur une profonde remise en cause des systèmes de production et la promotion de nouvelles interactions entre les producteurs et les consommateurs. Ces expériences se positionnent en rupture complète avec les modèles de développement agricole conventionnels et les circuits de distribution qui leur sont associés. Elles sont portées par des mouvements sociaux et des militants (le réseau Ecovida).

Dans le quadrant « adaptatif et inclusif », nous retrouvons des dispositifs qui ne remettent pas fondamentalement en cause les modèles de développement agricole en place. Nous classons d'abord les dispositifs portés par des producteurs et des acteurs privés. Pour créer et augmenter leur gamme

de produits biologiques, des supermarchés se rapprochent d'organisations de producteurs. Cette alliance avec le secteur de la distribution est une opportunité économique qui motive les producteurs à s'engager dans une transition agro-écologique. C'est le cas de l'association Agreco au sud du Brésil.

Un dernier cas de figure que nous situons dans le **quadrant « spécifique et adaptatif »** porte sur les indications géographiques (IG). Dans leur conception originelle, les IG ne visent pas en soi la promotion de l'agro-écologie. Ce sont des droits de propriété intellectuelle, qui valorisent et protègent des produits de terroir. Mais ce sont toutefois des outils de gouvernance, exerçant une influence significative sur les processus d'innovation locaux (Belmin, 2016) et qui peuvent avoir un impact important sur les transitions agricoles *via* la valorisation des ressources locales spécifiques de certains territoires. L'IG et l'agriculture biologique ou d'autres types de certification « *eco-friendly* » sont depuis longtemps considérés comme des signes de qualité qui peuvent être complémentaires. Un producteur peut vendre son produit sous IG avec un label biologique, en adaptant son système de production pour répondre aux deux cahiers des charges.

Les IG se saisissent de l'évolution du contexte global et de la demande des consommateurs ; les enjeux de la durabilité sont par exemple de plus en plus intégrés en tant que tels dans leurs cahiers des charges, comme dans le cas du rooibos. Au-delà de l'inscription de certaines règles en faveur d'une transition agro-écologique, les professionnels des IG soutiennent des actions en faveur de la préservation de l'environnement et de la valorisation du patrimoine (Ollagnon et Touzard, 2007). Plus récemment en France, en vue d'accompagner la politique nationale sur l'agro-écologie française impulsée par le ministère de l'Agriculture, l'INAO et l'Institut de la vigne et du vin ont élaboré un guide de bonnes pratiques agroenvironnementales. Le guide fournit des repères techniques pour tous les vignerons qui souhaitent, sur le plan individuel ou dans un cadre collectif, faire évoluer leurs pratiques, afin de commencer ou d'approfondir une démarche agroenvironnementale (INAO, 2017). Sans rien enlever aux efforts fournis par la filière, ce guide est représentatif de ce que l'on entend par agro-écologie adaptative ou agro-écologie faible, dans une filière où l'opposition entre IG et agriculture biologique était forte. Cette démarche vise en priorité les organisations en charge des IG.

Nous pouvons également repérer dans cette typologie les dispositifs

marchands portés par des producteurs et des acteurs publics et/ou des ONG. Nous soulignons ici le phénomène récent dans de nombreux pays qui consiste à voir de plus en plus de collectivités territoriales, de villes ou de régions urbaines, investir les secteurs de l'agriculture et de l'alimentation. L'enjeu pour ces responsables est d'assurer la sécurité alimentaire des populations (urbaines mais aussi rurales) et d'améliorer la durabilité du système alimentaire urbain ou régional, en prenant en compte les impacts environnementaux, sociaux et économiques. Les leviers d'action les plus mobilisés sont l'appui aux marchés de gros et aux marchés de plein air et à leur logistique (nouvelles réglementations, infrastructures), les programmes de restauration collective et les politiques de relocalisation d'approvisionnement alimentaire (aménagement des espaces agricoles périurbains, établissement de règles et de contrats, systèmes d'informations). Des plateformes d'approvisionnement en produits locaux (virtuelles ou non) facilitent la rencontre entre les acteurs publics et les fournisseurs de produits locaux issus de l'agriculture biologique ou non. L'essor des programmes de marchés institutionnels ou de restauration scolaire s'inscrit aussi dans ces dynamiques. Les nouvelles politiques du Brésil autour du programme « Faim zéro », ou dans plusieurs pays d'Afrique, sont des exemples qui œuvrent à l'inclusion de produits biologiques dans les menus des cantines scolaires.

Conclusion

Les réflexions apportées ici montrent l'importance des dynamiques marchandes dans la transition agro-écologique. La recherche de nouveaux marchés, l'adhésion des producteurs et l'évolution de leur système de production sont les éléments que nous avons pu relever au travers des expériences évoquées ici. Il est important de souligner la grande diversité de modalités d'insertion sur les marchés mais aussi des projets que portent les promoteurs de ces expériences. Resituer ces initiatives dans la conception d'une transition socio-technique et de sa perspective multi-niveau (Geels et Schot, 2007) fait apparaître trois éléments de réflexion.

Primo, le changement d'échelle ou la capacité d'une initiative à évoluer est fonction du projet porté. Différentes situations sont observées. Les initiatives (niches) évoluent vers le régime socio-technique dominant et contribuent à le faire évoluer. C'est le cas de l'institutionnalisation de l'agro-écologie ou des systèmes participatifs de garantie (Maroc, Laos,

Agreco Brésil, IG Rooibos). Dans d'autres cas, les promoteurs maintiennent une opposition forte au régime dominant. Ces expériences évoluent, peuvent changer d'échelle (passer du marché local au marché national) mais restent à l'écart du régime dominant. Ecovida est une niche qui se renforce et s'étend sans intégrer le système dominant, en maintenant ces valeurs (rupture avec le modèle conventionnel, refus de faire des alliances avec la grande distribution).

Secundo, l'institutionnalisation des signes de qualité se réfère à l'établissement de règles qui structurent les interactions sociales, « définissant qui a le droit de participer au marché, quels biens font partie des transactions, comment les échanges devraient se dérouler et quels sont les droits et obligations de chaque agent économique » (Niederle et Gelain, 2013 ; en référence à Hodgson, 2006, voir Marie-Vivien et Biénabe, 2017). L'institutionnalisation de l'agro-écologie ou des modalités de garantie de la qualité et le rôle des États dans le processus sont des éléments importants pour stimuler les innovations et offrir des opportunités à des organisations paysannes et territoriales à la recherche de nouveaux modes de production.

Tertio, l'étude montre le couplage entre les pratiques agro-écologiques (en agriculture biologique ou raisonnée) et une valorisation marchande qui cherche le rapprochement avec l'utilisateur final. Ces initiatives sont aussi adossées à des systèmes de certification de la qualité.

Enfin, nous retiendrons que la présence de différents modèles de développement agricole et la coexistence d'une pluralité de dispositifs d'échange aux rationalités et projets politiques différents favorisent la transition agro-écologique et la transformation des systèmes alimentaires.

Références

Allen P., 2004. *Together at the Table Sustainability and Sustainance in the American Agrifood system*, Penn State University Press, États-Unis, 272 p.

Baret P., 2017. Quelle approche système pour construire des trajectoires de transition. In : *Conférence au Colloque de clôture du projet Format. Coexistence des modèles agricoles et alimentaires : un nouveau paradigme du développement territorial ?* Inra, Cirad, Paris, 29 juin 2017.

Belmin R., 2016. Construction de la qualité de la clémentine de Corse sous indication géographique protégée : Analyse des pratiques agricoles et du système socio-technique, thèse, Université de Corse Pascal-Paoli, Corte.

Biénabe E., Leclercq M., Moity-Maïzi P., 2009. Le rooibos d'Afrique du Sud : Comment la biodiversité s'invite dans la construction d'une indication géographique. *Autrepart*, 50 (2), 117.

Delfosse C., 2003. Géographie rurale, culture et patrimoine. Vol. I : Texte de synthèse. Mémoire pour le diplôme d'Habilitation à diriger des recherches en géographie, université de Lille 1.

Geels F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31 (8-9), 1257-1274.

Geels F.W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33 (6), 897-920.

Geels F.W., Schot J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36, 399-417.

Goodman D., 2004. Rural Europe redux? Reflections on alternative agro-food networks and paradigm change. *Sociologia Ruralis*, 44, 3-16.

Guthman J., 2004. *Agrarian Dreams: The paradox of organic farming in California*, Berkeley, University of California Press, Berkeley, États-Unis, 328 p.

Hodgson G., 2006. What are institutions? *Journal of Economic Issues*, 40 (1), 1-25.

Idea, 2015. Institutionnalisation des agro-écologies, appel à projet générique ANR, Paris, France.

INAO, 2017. *Guide de l'agro-écologie en viticulture : Développement des mesures agroenvironnementales*, INAO IFV, Paris, France.

Lamine C., 2017. *La Fabrique sociale de l'écologisation de l'agriculture*, éditions La Discussion, Marseille, 225 p.

Lemeilleur S., Allaire G., 2018. Système participatif de garantie dans les labels du mouvement de l'agriculture biologique : Une réappropriation des communs intellectuels. *Économie rurale*, 365.

Lemeilleur S., Sermage J., Mellouki A., Galan J.G., 2018. Vers la construction d'un commun par les approches participatives: le cas du SPG d'un label d'agro-écologie au Maroc. École Chercheur évolution et gouvernance des communs, Azrou, Maroc, 12 avril 2018.

Le Velly R., 2017. *Sociologie des systèmes alimentaires alternatifs : Une promesse de différence*, Presses de l'École des mines, Paris, 197 p.

Marie-Vivien D., Biénabe E., 2017. The Multifaceted role of the state in the protection of geographical indications: A worldwide review. *World Development*, 98, 1-11.

Marie-Vivien D., Vagneron I., 2017. One size fits all or tailor-made? Building appropriate certification systems for geographical indications in Southeast Asia. *World Food Policy*, 4 (1), 105-126.

Meynard J.M., Messéan A., Charlier A., Farès M., Le Bail M., Magrini M.B., Savini I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures, étude au niveau des exploitations agricoles et des filières, synthèse du rapport d'étude, Inra, Paris.

Mior L.C., 2005. *Agricultores familiares, agroindústrias e redes de desenvolvimento rural*, Argos, Chapeco, Brésil, 338 p.

Moustier P., 2014. Valorisation commerciale d'une agriculture commerciale de proximité. In : *Conception de systèmes horticoles innovants* (P.-Y. Lauri, ed.), Bouayes, Formatsciences, 233-245.


Moustier P., 2017. Short urban food chains in developing countries: Signs of the past or of the future? Dossier L'Agriculture dans le système alimentaire urbain : continuités et innovations. *Nature, sciences, sociétés*, 25 (1), 7-20.

Niederle P., Gelain J., 2013. Geographical indications in Brazilian food markets: Quality conventions, institutionalization and path dependence. *Journal of Rural Social Sciences*, 28 (1), 26-53.

Ollagnon M., Touzard J.M., 2007. Indications géographiques et développement durable, enquête nationale sur les actions des organisations de gestion locale des indications géographiques, Inra UMR Innovation, Montpellier.

Ollivier G., Bellon S., 2013. Dynamiques paradigmatiques des agricultures écologisées dans les communautés scientifiques internationales. *Natures, sciences sociétés*, 21 (2), 166-181.

Rieutort L., 2011. La géographie française et la question rurale. *In : Dynamiques des espaces ruraux dans le monde*, Armand Colin, Paris, 17-45.

Sautier D., Nguyen T.T.L., 2016. Strengthening an emergent horticulture cluster in Vietnam: Interest group and certification trademark. *ISHS Acta Hortic.*, 1128, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1128.13> .

Shutter de O., 2014. Le droit à l'alimentation, facteur de changement, rapport final A/HRC/25/57, Nations unies, Genève.

Vanloqueren G., Baret P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations, SSRN scholarly paper ID 1417009, Social Science Research Network, Rochester.

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis T., Vallod T., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515.

CHAPITRE 16

Les dispositifs territoriaux : des biens communs pour construire la transition agro-écologique

La révolution verte a transformé profondément les modèles de production agricoles au cours du xx^e siècle (Mazoyer et Houdard, 2002). Basés sur l'utilisation des dérivés du pétrole et sur des investissements en capital croissants, ces modèles, promus par des politiques publiques volontaristes, s'insèrent dans des organisations industrielles, commerciales et territoriales complexes.

Forts de leur efficacité technique et économique, ces modèles parviennent à relever le défi de la croissance démographique en offrant, à bas prix, une grande diversité de produits à une population de 7 milliards d'individus. Avec leurs lobbys qui les diffusent partout dans le monde, ils dominent aujourd'hui les marchés, les territoires, les filières et les institutions (Ploeg, 2008).

Pourtant leurs limites sont devenues criantes : impacts négatifs sur l'environnement et ses équilibres (atteinte de la biodiversité, pollution des terres et des eaux...), qualité des aliments remise en question. En outre, les capitaux et les revenus sont toujours plus concentrés et ne permettent pas la réduction de la pauvreté (Griffon, 2006).

La transition agro-écologique se positionne face à ces limites et à ces externalités négatives. Elle propose entre autres des alternatives techniques mobilisant les fonctionnalités écologiques des agrosystèmes pour garantir la production agricole et assurer une contribution au développement durable (Gliessman *et al.*, 2015). Des principes et des contenus techniques divers sont proposés, des groupes sociaux s'en emparent d'un point de vue organisationnel et politique, des filières se structurent, des marchés se créent, des politiques incitatives s'élaborent et se mettent en place. Mais les initiatives restent dispersées et minoritaires. Elles ont besoin de consolidations politiques et institutionnelles. De nombreux acteurs du développement, publics et privés, se mobilisent autour de cet objectif (Wezel *et al.*, 2009). Cet ouvrage témoigne de la diversité et de la multiplicité des actions engagées.

Ce chapitre analyse plus particulièrement les arrangements et les organisations territoriaux nécessaires à cette transition. Il montre quels sont leurs apports possibles, expose les méthodes et leurs limites, illustre la réflexion en présentant des exemples concrets de territoires où le Cirad

s'est engagé avec ses partenaires dans la recherche d'une transition agro-écologique.

Pourquoi parler de territoires et de dispositifs ?

Pour contribuer au développement durable, la transition agro-écologique ne peut pas se limiter à une somme de transitions individuelles dans des exploitations innovantes, même nombreuses, et ce pour deux raisons. La première est d'ordre technique. Les paysages, qui sont le théâtre de la transition agro-écologique des agro-écosystèmes, sont continus. Par exemple, un seul agriculteur utilisant des pesticides, peut polluer l'ensemble d'un bassin versant, rendant impossible une certification. La seconde est organisationnelle et institutionnelle. L'empreinte territoriale et collective des activités agricoles, les externalités et services, le fonctionnement des marchés, la gestion des ressources et des écosystèmes, les réseaux d'innovation supposent en effet une action collective et institutionnelle coordonnée (Griffon, 2013).

Ainsi, l'agro-écologie doit se concevoir au-delà des seuls changements techniques, des limites spatiales du champ et des exploitations et des sphères sectorielles, des filières ou des catégories d'agriculteurs (Petersen *et al.*, 2012). Les processus de transition agro-écologique s'enracinent alors dans les territoires, car ils dépendent d'une part de la coordination entre les acteurs locaux et d'autre part des évolutions sociales et institutionnelles, qui soutiennent les apprentissages ainsi que la co-construction des connaissances et des innovations chez les agriculteurs et dans les filières (Piroux *et al.*, 2010).

Ces processus se réalisent dans des contextes institutionnels souvent défavorables (Knox et Meinzen-Dick, 1999 ; ou Whiteside, 1998). D'abord, l'agriculture conventionnelle domine les superficies agricoles, les institutions, les réseaux sociaux et les mentalités. De plus, la transition agro-écologique est diverse et peu fédérée. Les projets liés à l'agro-écologie sont multiformes tant du point de vue technique (de l'agriculture raisonnée à la permaculture) que politique (d'une agro-écologie intégrée au marché à une agro-écologie favorisant avant tout l'autonomie des communautés rurales).

Pour répondre à ces impératifs, les acteurs locaux peuvent disposer ou construire des « dispositifs territoriaux ». En nous référant à Foucault (1975), nous définissons le dispositif territorial comme un arrangement institutionnel et un assemblage intentionnel d'éléments hétérogènes (des normes, des discours, des pratiques, des instruments, des outils, des structures organisationnelles, des savoirs...). L'ensemble est conçu pour répondre à une finalité commune dans le territoire, dans notre cas celle de renforcer les transitions agro-écologiques.

Basé sur des actions participatives et négociées, la particularité du dispositif territorial est qu'il vise systématiquement à produire des effets de régulation du champ social (inclusion d'acteurs par exemple) et politique (accès et usage des terres par exemple). En l'occurrence, la construction de normes est destinée à orienter les comportements et à favoriser la consolidation de nouvelles pratiques agro-écologiques. Le dispositif décide ainsi de règles d'appropriation, de l'usage des ressources et des espaces, mais aussi définit les conditions de consolidation économique, sociale et politique de la transition agro-écologique. Pour cela, le dispositif territorial mobilise des outils, des organisations et des instruments spécifiques (des chartes, des certifications, des plans de développement...), destinés à produire puis à appliquer ces normes. Ce faisant, il stabilise un cadre de gouvernance des actions agro-écologiques, en articulant action individuelle, action collective et action gouvernementale. Il valorise ainsi le territoire, espace institutionnalisé qui fait sens pour les acteurs locaux, que ce soit en termes d'identité ou d'organisation, tous deux nécessaires pour mobiliser les énergies transformatrices et définir un projet collectif.

Les dispositifs territoriaux présentent une diversité importante car les conditions qui ont présidé à leur construction sont toujours singulières. La question de leur spécificité se pose toutefois au regard de la transition agro-écologique. Présentent-ils les mêmes caractéristiques que ceux visant d'autres objectifs territoriaux ? En quoi sont-ils différents d'autres dispositifs, tels que les plateformes d'innovation, la gestion des communs ? Ces questions nous aideront à mieux dessiner les contours de dispositifs territoriaux adaptés à la transition agro-écologique.

Ce chapitre présente une analyse des objectifs, de la diversité, des caractéristiques et des conditions de succès de tels dispositifs territoriaux. La réflexion qui se veut générique s'appuie sur des études de cas, issus de

plusieurs pays du Sud. Ces cas sont présentés dans des encadrés permettant d'étayer et d'illustrer les propos.

Construction de dispositifs territoriaux : principes et spécificités

Des normes spécifiques pour assurer la transition agro-écologique

Les dispositifs territoriaux assurent le plus souvent un rôle essentiel de régulation entre les acteurs locaux, en édictant des normes sur les questions d'appropriation et des usages des ressources territoriales. Il s'agit avant tout des ressources renouvelables mais également des usages des terres. En effet, la mise en place de pratiques agricoles plus écologiques dans un territoire est souvent conditionnée par l'acceptation de nouvelles règles d'utilisation des espaces et des ressources, qu'il faut mieux préserver. Ces règles et les processus écologiques qui leur sont associés sont censés devenir les piliers et le moteur de l'intensification écologique (Gliessman, 2015). Par exemple, l'encadré 16.1 décrit la construction d'une charte foncière élaborée au niveau des communes au Burkina Faso, charte nécessaire pour mettre en œuvre des règles d'usage plus agro-écologiques dans les territoires. L'encadré 16.2 décrit le même processus dans les villages laotiens. Au-delà des ressources naturelles, ce travail de construction de normes concerne aussi les marchés (marché public pour les produits agro-écologiques par exemple), la production de services écosystémiques (qualité des eaux, de l'air...) et les règles de l'action collective. Ces normes créent de la valeur locale. La notion de qualité spécifique des produits ou des processus devient centrale.

Encadré 16.1. Charte foncière et transition agro-écologique

É. Vall (cf. chapitre 1)

Les territoires de la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso ont connu des changements notables au cours des trois dernières décennies, principalement liés à l'accroissement de la population qui a quasiment triplé. Cette explosion démographique s'est accompagnée d'une augmentation du cheptel herbivore et des défriches pour l'agriculture, et d'une exploitation de type minier des

ressources naturelles. En effet, avec la forte pression foncière, les règles coutumières, auparavant efficaces, ne permettent plus de gérer les compétitions et les conflits sur les espaces et les ressources (terres agricoles, pâturages, points d'eau, ressources forestières, halieutiques et fauniques), et la question de leur exploitation et de leur gestion durable se pose de façon pressante. Au Burkina Faso, les collectivités locales issues de la décentralisation ont besoin de rénover les dispositifs de gestion des ressources naturelles de leur territoire, pour les exploiter durablement, contrôler les compétitions et gérer les conflits entre usagers. Depuis 2009, l'évolution de la loi foncière leur permet de mettre en place des chartes foncières locales. Inspirée par les coutumes, les usages et les pratiques locales, mais non contraire aux lois et aux règlements de l'État, une charte détermine à une échelle bien définie les règles particulières relatives à la bonne gestion des ressources territoriales.

De 2008 à 2012, le projet Fertipartenaires¹ a accompagné la commune de Koumbia dans la conception et la mise en place d'une charte foncière locale pour établir des règles d'utilisation des ressources et des espaces compatibles avec une gestion durable des ressources et une transition agro-écologique (Vall *et al.*, 2015). Vu le nombre d'acteurs concernés sur la commune (14 villages, 1 358 km², 36 000 habitants) et au-delà (province, État), un dispositif de représentation des acteurs relativement complexe a été mis en place pour établir la charte. Des cadres de concertation transitoires ont tout d'abord été mobilisés dans chaque village pour établir un état des lieux participatif et pré-identifier des règles de gestion des ressources. Puis un cadre de concertation *ad hoc* resserré a permis d'ajuster ces règles au cadre légal et de concevoir un projet de charte qui a été adopté par le conseil municipal. La troisième phase visait à mettre en place les commissions chargées de l'application de la charte. La fin du projet en 2012, l'attente des décrets d'application, les événements de 2014 n'ont pas permis, à ce jour, de mettre la charte en application.

(1) <http://food-fertipartenaires.cirad.fr> 

Pour assurer cette régulation, les dispositifs territoriaux garantissent une coordination entre les acteurs locaux impliqués dans la transition. Ils sont liés au marché, à l'État et à la société civile (fig. 16.1).

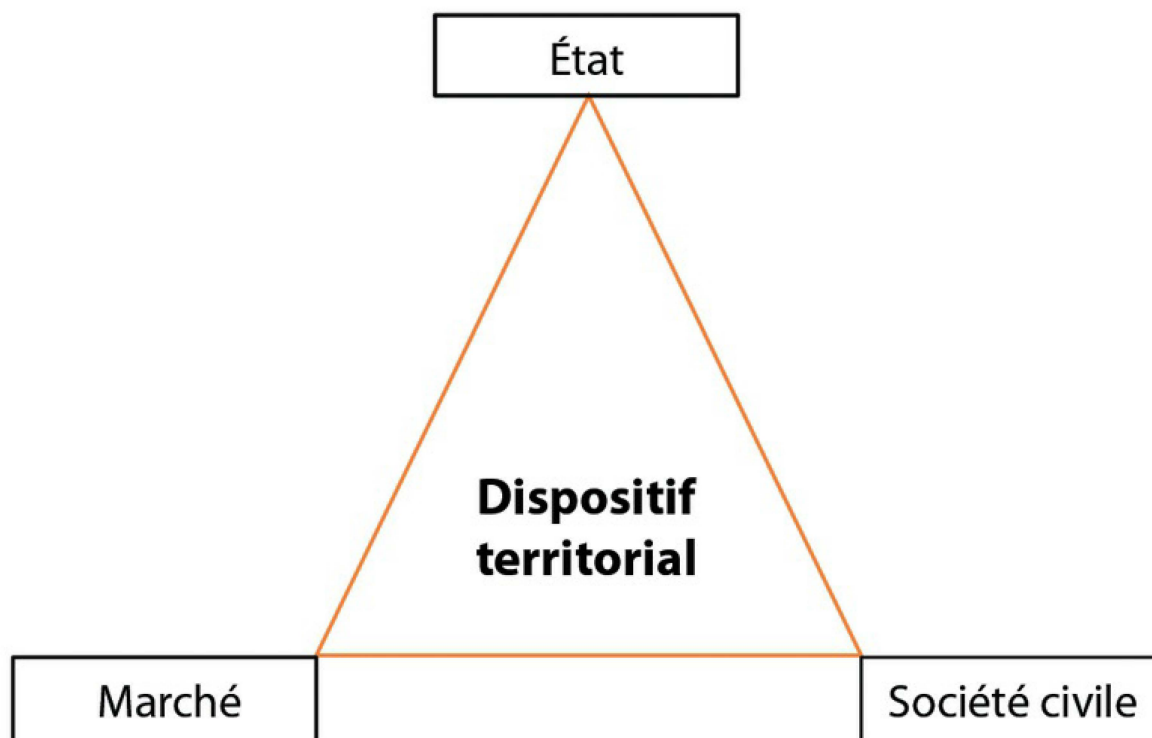


Figure 16.1. Représentation schématique du rôle de coordination des dispositifs territoriaux entre les types d'acteurs dans les territoires.

Leurs intérêts sont diversifiés et parfois contradictoires : l'État a pour mandat de satisfaire l'intérêt général (maximiser les biens publics, les services écosystémiques et pas seulement ceux de production) ; les marchés cherchent à maximiser des biens privés (bénéfices, réputation...) et les consommateurs et citoyens peuvent exiger aussi la fourniture des biens privés et publics (santé, biodiversité...).

Encadré 16.2. Des dispositifs territoriaux pour consolider l'approche paysagère au Laos

J.-C. Castella, P. Lienhard, J. Bourgoïn, G. Lestrelin, S. Phimmasone (cf. chapitre 5)

Dans les zones de montagnes du Nord Laos, de nombreux villages sont engagés dans un processus de transition agraire qui marque le passage d'une agriculture de subsistance vers une agriculture commerciale. La conversion des systèmes traditionnels d'abattis-brûlis — à bout de souffle du fait du raccourcissement des périodes de jachère pour pratiquer la monoculture intensive de cultures de rente comme le maïs ou le manioc — contribue à la disparition des mosaïques forêt-agriculture, à la dégradation des terres

agricoles et accroît la vulnérabilité des petites exploitations. Ces changements de pratiques et d'organisation spatiale et temporelle de la production agricole conduisent à des impasses du point de vue de la viabilité économique et environnementale des moyens d'existence locaux.

Depuis 2014, le projet Eficas (*Eco-Friendly Intensification and Climate resilient Agricultural System*¹) s'est engagé avec des communautés villageoises des provinces de Louang Prabang, Houaphan et Phongsaly dans l'appui à la mise en place et l'accompagnement de dispositifs territoriaux visant à une transition agro-écologique (Castella, 2009). La première étape du processus d'apprentissage collectif consiste à co-concevoir un plan d'aménagement des terres au niveau du village. À cette occasion, un comité villageois de gestion des terres se réunit pendant plusieurs jours avec des représentants des services de vulgarisation agricole et des agents du cadastre. Ensemble, ils marquent les limites du territoire villageois sur un modèle en trois dimensions de la localité et, le cas échéant, ils ont recours à des relevés GPS pour localiser des zones litigieuses à clarifier avec des représentants des villages voisins. Une fois les frontières du village clairement établies, ils collectent ensemble les données socio-économiques et environnementales nécessaires à l'établissement d'un plan d'aménagement (PLUP ou *Participatory Land Use Planning*). Ces données servent dans un premier temps à paramétrer un jeu de rôle (nommé *PLUP-Fiction*) qui engage les participants du village et des administrations locales dans une négociation autour d'objectifs de production agricole et de services écosystémiques, et de préservation des ressources forestières, etc. Des règles communes de gestion et d'action collective sont mises en jeu et négociées entre participants dans le cadre du jeu de rôle ; elles sont ensuite testées et adaptées sur le modèle en trois dimensions du territoire villageois (Bourgoin *et al.*, 2013). Cela permet de faciliter la visualisation des composantes territoriales sur lesquelles portent les enjeux de gestion agro-écologique des ressources et d'engager les participants dans la production d'un plan d'aménagement adapté aux contraintes et aux opportunités locales. Le plan ainsi conçu est ensuite mis en œuvre par les mêmes groupes d'acteurs.

Des renégociations annuelles des règles de gestion et des activités à mettre en place jalonnent un chemin d'apprentissage collectif qui cherche à tendre vers le plan d'aménagement initialement cartographié. Dans la pratique, le passage à l'action suppose une renégociation régulière du plan initial qui, lorsqu'il est mis en œuvre, devient l'objectif ultime du processus d'action collective. Les résultats obtenus dans le cadre du projet Eficas plaident pour une transformation majeure des services de vulgarisation agricole laotiens qui attribuerait aux agents locaux un rôle de facilitateur dans les approches d'apprentissage collectif à l'échelle de territoires villageois.

(1) www.eficas-laos.net 

Garantir une coordination signifie construire une cohérence entre les forces du marché, les politiques publiques et les projets des communautés. Pour cela, les dispositifs territoriaux structurent tout d'abord des arrangements institutionnels spécifiques, que nous considérons comme les « règles du jeu », et leurs conditions d'usage au sein de ces dispositifs. Le cas des arrangements productifs locaux au Brésil illustre bien cet objectif de coordination (encadré 16.3). Mis en place dans le cadre de la politique des territoires ruraux en 2010, les arrangements productifs locaux cherchaient à la fois à consolider l'insertion productive des agriculteurs familiaux et à conforter la dimension agro-écologique de ces processus. Définis au niveau de filières productives locales (lait, ananas, goyave...), les arrangements productifs locaux ont privilégié la construction de réseaux locaux organisés autour d'agents de l'État et des mouvements sociaux. De nouvelles coordinations ont été mises en place pour assurer davantage de cohérence à l'action publique et orienter le financement d'investissements productifs.

Encadré 16.3. Les arrangements productifs locaux au Brésil pour favoriser l'agro-écologie

É. Polge

Les arrangements productifs locaux sont définis comme des agrégations territoriales d'acteurs concentrés sur un ensemble spécifique d'activités économiques qui présentent des liens entre elles. Ils s'apparentent à des districts industriels ou à des *clusters* adaptés aux pays émergents car ils prennent en considération des interactions naissantes qui peuvent bénéficier de formes d'action collective et contribuer ainsi à créer des externalités locales ou favoriser l'apparition de processus de développement. Les arrangements productifs locaux ont été promus par le gouvernement brésilien comme des arrangements institutionnels qui se structurent autour de pôles de production spécialisés. Il s'agit d'identifier des embryons d'actions collectives autour d'une production donnée, dans le but de structurer le paysage productif. La concentration des efforts des institutions doit permettre l'émergence de filières et la construction d'un dispositif territorial de gouvernance de la filière.

Ainsi dans le domaine agricole, l'arrangement productif local favorise l'organisation des producteurs et l'émergence d'une culture de rente, au-delà

de l'autoconsommation. L'enjeu d'un arrangement productif local accompagnant la transition agro-écologique se trouve alors dans la capacité à utiliser une production principale comme levier de développement tout en augmentant la diversité sur l'exploitation et en multipliant les opportunités de commercialisation des autres productions. C'était l'objectif des arrangements productifs locaux créés en Amazonie orientale par la politique de développement territorial lancée en 2008, qui voulait par là promouvoir l'agro-écologie, réalisés entre autres pour les productions laitières, la goyave, l'ananas, l'açaï. Les arrangements productifs locaux sont organisés par une instance de gouvernance, les collèges de développement territorial (Codeters), mise en place à l'échelle de territoires intermunicipaux, eux-mêmes consolidés par des arrangements et des contrats signés avec les États fédérés, notamment le Pará.

Pourtant leur mise en œuvre, comme le montrent Polge *et al.* (2016) et Polge et Piraux (2017), a rencontré de nombreuses difficultés pour équilibrer le besoin de spécialisation et la nécessité agronomique et économique de diversification. En effet, alors que les dispositifs de gouvernance territoriale et les institutions locales et régionales qui les composent faisaient la promotion de l'agro-écologie, les arrangements productifs locaux ont favorisé une spécialisation en agriculture conventionnelle avec l'usage excessif d'intrants, une fragilisation des exploitations avec un unique produit commercialisé, la diminution des capacités d'autoconsommation du moins dans un premier temps. Néanmoins, dans un deuxième temps, l'organisation des producteurs en coopératives et la consolidation des circuits commerciaux ont incité les producteurs à diversifier à nouveau mais d'autant plus difficilement qu'ils avaient adopté un mode de production conventionnel. Dans d'autres cas, la dispersion des orientations du dispositif territorial sur une grande diversité de productions n'a pas encouragé les producteurs à dégager des surplus de production de telle sorte que les organisations collectives de transformation et de vente n'ont pas suscité beaucoup d'intérêt. De nouvelles coordinations ont toutefois été mises en place pour assurer davantage de cohérence à l'action publique et orienter le financement d'investissements productifs.

Pour fixer les cadres normatifs qui structurent les transitions agro-écologiques, les dispositifs territoriaux proposent des instruments spécifiques (chartes, certifications, cahiers des charges, outils de politique publique, contrats...) qui concrétisent les volontés de changement et impliquent les différents acteurs aux multiples échelles. Ces cadres résultent systématiquement d'un processus de construction participatif de ces normes, comme le précisent les différentes études de cas.

Enfin, les dispositifs territoriaux interviennent dans le jeu politique de la transition agro-écologique, du fait de leur fonction de régulation territoriale et normative. Les dispositifs territoriaux liés à la transition agro-écologique sont toujours ancrés dans des relations de pouvoir, dans le sens où ils tentent de modifier les relations et les stratégies des acteurs du milieu rural, y compris ceux liés aux marchés. Les rapports de force favorables à l'agro-écologie sont à instaurer pour stabiliser et renforcer la transition. La démarche de certification territoriale à Paragominas (Brésil) est à ce titre illustrative (encadré 16.4).

Encadré 16.4. Certification territoriale en Amazonie à Paragominas

R. Pocard

La commune de Paragominas, dans l'État du Pará au nord du Brésil, est parvenue en quelques années à inverser sa trajectoire de développement, passant de champion de la dévastation forestière au modèle de gestion territoriale « verte » pour l'Amazonie. Jusqu'au début des années 2000, Paragominas est la capitale de l'exploitation forestière, après avoir été celle du bœuf, les deux principaux facteurs de déforestation et de dégradation forestière à l'époque. C'est alors que, sous la gestion du président Lula, l'État brésilien met en place un arsenal de mesures répressives dans toute l'Amazonie, pour stopper la déforestation. À cela, deux conséquences majeures. D'une façon générale, les producteurs ruraux, privés de nouveaux espaces et de sols forestiers, doivent désormais abandonner les modes extensifs et miniers de production, pour gérer les ressources naturelles disponibles. L'émergence de cette transition agraire pourra devenir le premier pas vers une transition agro-écologique. La commune de Paragominas fut la seule à réagir proactivement à ces mesures venant de l'État central, et à proposer au gouvernement un plan d'action territorial : le *município verde* (commune verte). Celui-ci garantit les objectifs de zéro déforestation sur la commune, mais aussi engage les producteurs dans un processus de régularisation environnementale et consolide les outils municipaux de protection des forêts, en échange d'une abolition progressive des mesures répressives.

Assumer cette décentralisation des responsabilités environnementales, par un dispositif territorial approprié, ouvre alors à la commune de nouvelles voies de développement, plus responsables. Cette nouvelle trajectoire pourrait aboutir à une certification du territoire, sur des critères de durabilité précis et surtout définis localement.

Le dispositif territorial mis en place à Paragominas en 2008 repose largement sur les épaules de la mairie, dans la mesure où les institutions locales sont encore embryonnaires dans ces territoires pionniers. La société civile locale y est peu structurée (en dehors des principaux conflits datant de la phase pionnière d'occupation). Parvenir ainsi à fédérer des acteurs locaux disparates, autour d'un pacte social et d'un projet de développement territorial, constitue une innovation d'importance stratégique car les instances supérieures, fédérales ou fédérées, sont impuissantes à promouvoir la durabilité : même en se limitant à des actions de type « *command and control*¹ », elles sont bridées par l'immensité de leurs juridictions, la diversité des situations, le manque de structures et le fonctionnement encore précaire de leurs propres institutions.

La mairie cherche actuellement à reformuler son dispositif territorial, l'objectif du respect de la législation environnementale n'étant plus suffisant pour générer du développement et maintenir l'engagement de tous. Par ailleurs, préoccupées par leur image ou celle de leurs produits, les filières, et notamment les banques, sont prêtes à soutenir des projets territoriaux, pour peu qu'ils soient convaincants et transparents au regard des défis locaux de la durabilité. La lutte contre les incendies — nouveaux fléaux environnementaux —, une participation plus forte de l'agriculture familiale dans les choix publiques, la séquestration de carbone dans les sols et la végétation, la reconstruction d'une trame forestière et de paysages efficaces, l'éducation en milieu rural, sont quelques-uns des aspects jugés prioritaires à Paragominas. La transition agro-écologique apparaît encore peu, mais la structuration du dispositif territorial constitue, de toute façon, un fondement important pour favoriser ou amplifier cette transition le moment venu.

(1) Ces actions privilégient le caractère de suivi de la déforestation par satellite et les systèmes de contrôle et de répression qui les accompagnent.

Une diversité de conceptions selon les contextes

Comme tout dispositif territorial, ceux promouvant la transition agro-écologique sont multi-acteurs. Ils sont en effet au centre des interrelations locales entre État, marché et société civile. Mais selon le contexte, les poids et les rôles des différents types d'acteurs varient. Le plus souvent, les dispositifs sont mis en place par les acteurs à capitaux sociaux élevés, ceux-ci n'étant pas les mêmes d'un cas d'étude à l'autre. Mais partout les autres acteurs sont également mobilisés. À Paragominas, la certification territoriale prétend impliquer les acteurs des sphères privées et publiques.

D'autres dispositifs territoriaux, comme le pôle de la Borborema (Brésil, encadré 16.5) sont davantage polarisés sur la société civile (syndicat, université, ONG).

Pour produire des effets de régulation, les dispositifs territoriaux répondent à des objectifs divers. Définir de nouvelles règles d'usage des ressources territoriales, mettre en place des politiques publiques, créer de nouveaux marchés, fédérer des acteurs en associations ou coopératives, sont des étapes obligées de la transition agro-écologique. Mais chaque dispositif les met en œuvre à sa façon et à son rythme, en mobilisant des instruments spécifiques (certification territoriale ou de produits, charte, plan d'aménagement...).

Le système de gouvernance adossé à ces dispositifs territoriaux est généralement hybride entre des acteurs publics et privés. Il peut changer au cours du processus de construction puis d'application des normes. Dans le cas du Burkina Faso, des instances de gouvernance transitoires ont vu le jour. Parfois, ces instances sont les mêmes jusqu'à la phase de mise en œuvre des normes, comme dans le cas des arrangements productifs locaux en Amazonie. Quoi qu'il en soit, le système de gouvernance vise à susciter le dialogue et à construire des visions partagées que la proximité territoriale rend possibles (Torre et Rallet, 2005). Il s'agit aussi de créer et de renforcer des compétences pour utiliser l'information et assurer la gestion territoriale, chez des acteurs dont le niveau de formation est souvent faible.

Le territoire mobilisé est un autre facteur de diversité. Il apparaît comme le lieu privilégié d'une nouvelle forme d'action publique, fruit de la concertation entre secteurs public et privé (État, marché et acteurs de la société civile) (Tonneau *et al.*, 2017), mais les limites spatiales diffèrent selon les dispositifs. Ceux-ci privilégient le plus souvent, mais pas toujours, les échelons administratifs et politiques décentralisés existants (la commune, le district...) afin d'exercer un vrai pouvoir de régulation entre les acteurs. Parfois, comme c'est le cas du pôle de la Borborema, le territoire a été construit par les mouvements sociaux et les communautés rurales. La cohérence entre les différents niveaux d'échelle reste toutefois capitale à assurer, entre l'exploitation, les paysages, les bassins versants, les communes et les régions. Ceci est un élément capital de la transition agro-écologique. Nous y reviendrons.

Encadré 16.5. Le Pôle syndical de la Borborema : un acteur politique au service de la transition agro-écologique

M. Piraux

Dans le semi-aride brésilien, beaucoup d'expériences de transition apparaissent consolidées. De fait, depuis plus de deux décennies, les organisations locales y organisent un modèle de développement basé sur l'agro-écologie et sur la *convivência* (vivre avec) avec la sécheresse. La zone de l'Agreste dans l'État de la Paraíba, région de transition entre la zone humide du littoral et l'arrière-pays (le Sertão) plus aride, s'est toujours présentée comme un moteur dans ces processus.

Dans les années 1990, l'ONG AS-PTA (Assistance et services pour les projets d'agriculture alternative) a débuté un processus d'expérimentation de techniques alternatives avec les syndicats agricoles de trois *municipes* (communes) de la région. Des évaluations du fonctionnement technique, économique et social des unités productives ont été conduites en promouvant des échanges intra- et interrégions entre agriculteurs. Une relecture du fonctionnement de chaque agroécosystème de la région a cherché à identifier les grands problèmes, puis à formuler des hypothèses pour les résoudre. Au début des années 2000, les réseaux locaux des agriculteurs-expérimentateurs ont assuré le travail de diffusion des méthodologies d'expérimentation dans les communautés de leurs *municipes* respectifs.

À partir de 2002, les syndicats et l'AS-PTA ont élargi l'échelle d'intervention des réseaux des agriculteurs-expérimentateurs. Cela a directement questionné l'existence d'un acteur régional capable d'articuler les dynamiques sociales d'innovation en cours, afin de donner aux organisations des agriculteurs familiaux de la région une légitimité sociopolitique. Ainsi, le Pôle syndical et des organisations de l'agriculture familiale de la Borborema, qui regroupe 16 *municipes*, a été créé. Ce dispositif territorial s'est constitué autour de commissions thématiques, chacune responsable de la conception, de l'exécution et du contrôle de l'avance des travaux d'expérimentation, de leur systématisation et de l'organisation des échanges. Il s'est aussi institutionnalisé juridiquement de manière à gérer ses propres financements. Sa stratégie de promotion de développement régional s'est appuyée sur un programme de formation.

Le Pôle syndical s'est aussi constitué comme une unité de gestion décentralisée de programme de politique publique dans la Borborema. Son défi était de maintenir les conditions institutionnelles, administratives, financières et politiques pour assurer sa vocation en tant qu'agent stimulateur de dynamiques sociales d'innovation agro-écologique tout en revendiquant

son rôle comme acteur politique capable de promouvoir publiquement les propositions de l'agriculture familiale pour le développement de la zone.

On perçoit ici l'importance du Pôle syndical comme dispositif territorial pour ancrer les innovations dans le territoire, compris comme un espace de construction d'une identité collective, de débat et d'institutionnalisation des processus de transition agro-écologique. Il a ainsi soutenu des processus d'apprentissage, consolidé des réseaux sociaux et modifié les conditions de gouvernance territoriale pour favoriser l'intégration sociale et l'insertion politique des paysans. Il valorise ainsi un processus de gouvernance multi-échelle des innovations agricoles, nécessaire à la transition agro-écologique.

Enfin, la diversité des dispositifs territoriaux est le fruit d'histoires et d'intentionnalités particulières. Les dispositifs territoriaux sont le résultat de processus d'interactions complexes entre des contextes (écologique, social, institutionnel, politique) et des acteurs mobilisés pour la transition. Les acteurs « initiateurs » sont divers : ce sont des instances de l'État pour les arrangements productifs locaux en Amazonie brésilienne ; des décideurs locaux, publics et privés, à Paragominas ; des chercheurs au Laos ou au Burkina Faso ; des mouvements sociaux dans la Borborema au Brésil... À chaque fois, l'initiateur élabore une représentation sociale capable d'interférer sur le jeu décisionnel et donc politique de la région et pour mettre en place des normes promouvant la transition agro-écologique.

Les transitions dépendent fortement des conditions locales de production et de leur environnement socioéconomique et institutionnel. Certains contextes sont évidemment plus favorables que d'autres, en fonction notamment des forces sociales en présence, du degré de résistance des systèmes conventionnels envers une transition agro-écologique, des pouvoirs économiques et politiques qui y sont associés, et plus largement des contextes institutionnels et politiques. À Paragominas au Brésil, le maire et les élites locales ont pu lancer l'audacieuse initiative « commune verte » en réaction à l'imposition fédérale de cadres normatifs très contraignants (zéro déforestation, réglementations strictes dans les grandes filières, fermeture des scieries clandestines), qui ont localement provoqué une insoutenable crise économique et sociale, contexte dont profite aujourd'hui l'expérience de certification. Le Pôle syndical de la Borborema s'est créé dans une zone où historiquement l'agriculture familiale a pu se développer et constituer une force vive du territoire. Les arrangements productifs locaux ont bénéficié d'un environnement politique spécifique et très volontariste. Ces contextes ne déterminent pas

le champ des possibles mais ils contraignent ou facilitent la transition agro-écologique et donc l'efficacité des dispositifs territoriaux.

Toutes les spécificités (objectifs, intentionnalités, type d'acteurs, instruments, système de gouvernance, territoire mobilisé) impactent les méthodologies utilisées, les normes construites, les jeux d'acteurs et les rapports de force construits.

Quels sont apports concrets des dispositifs territoriaux dans la transition agro-écologique ?

Les dispositifs territoriaux contribuent à la transition de manière diverse.

Mobiliser les actifs territoriaux

Les dispositifs territoriaux valorisent particulièrement les actifs, qui proviennent de l'activation de ressources propres du territoire, ce qui lui permet de se différencier, et les différents capitaux territoriaux (Chambers et Conway, 1992). En tant que science de la localité, l'agro-écologie mobilise en effet des connaissances portant sur les potentiels des agroécosystèmes locaux, sur les actifs du territoire et sur l'ancrage territorial (lié aux ressources locales, naturelles, sociales ou symboliques).

Les méthodes et les outils qui structurent les activités des dispositifs en découlent. Une phase de diagnostic évalue l'état des ressources du milieu (écologiques, édaphiques...). Elle caractérise les forces sociales en présence, leurs intérêts, divergences, convergences. Ce diagnostic décrit les usages locaux et déduit de ces éléments les potentialités du territoire. Par exemple, l'élaboration de la charte foncière dans l'ouest du Burkina n'a été possible que grâce à la meilleure compréhension des logiques locales d'usages des ressources fourragères, mises en évidence par l'identification des catégories fonctionnelles de plantes fourragères qu'utilisent les éleveurs, en fonction des savoirs qu'eux seuls détiennent. En Amazonie brésilienne, la construction des arrangements productifs locaux a permis d'identifier les filières présentes sur les territoires, de mieux les comprendre pour mieux les accompagner. La transition agro-écologique veut organiser les marchés et les filières.

Les dispositifs territoriaux contribuent à la création de marchés et de filières adaptées. Approvisionner les marchés classiques avec des produits issus de la transition agro-écologique présente en effet des difficultés majeures. Ce sont tout d'abord des problèmes de conservation et de rapidité de transport. En outre, les opérateurs de distribution imposent de gros volumes et une régularité dans l'approvisionnement, tout aussi problématiques pour des systèmes agro-écologiques encore émergents. Enfin, certains critères de qualité, tels qu'une apparence moins homogène des produits agro-écologiques, peuvent grèver leur commercialisation. À ces difficultés, s'ajoutent des coûts de production parfois supérieurs en agro-écologie par rapport aux productions conventionnelles. La transition agro-écologique organise un accès à des marchés privilégiés, en circuit court, marché de niche ou marché institutionnel.

Les marchés institutionnels locaux, créés par exemple au Brésil mais aujourd'hui présents dans de nombreux pays, constituent en effet une option efficace. L'accès contractuel à ces marchés stabilise des pratiques, des financements et des organisations collectives sur le moyen terme. Le dispositif territorial permet de construire ces marchés et de faciliter l'adaptation des acteurs à des exigences particulières. C'est le cas à Paragominas, où, dans le cadre de la Politique nationale d'alimentation scolaire du Brésil, la mairie gagne régulièrement des prix nationaux récompensant les meilleures initiatives pour approvisionner les écoles municipales. Les filières courtes de vente directe au consommateur sont aussi des alternatives pour mieux commercialiser les produits agro-écologiques. Le dispositif territorial concourt à la tenue des marchés agro-écologiques (les stands ont par exemple été financés dans le territoire de la Borborema), à légitimer les produits et à renforcer la confiance entre producteurs et consommateurs.

L'autre contribution possible des dispositifs territoriaux à la commercialisation des produits issus de la transition agro-écologique, concerne l'institution de signes spécifiques de qualité, construits localement et valorisant les actifs territoriaux. Le travail collectif sur les signes de qualité ou des critères sanitaires liés aux pratiques locales est de leur responsabilité. À Paragominas, mairie, éleveurs, systèmes d'inspection et coopérative laitière ont ainsi élaboré une législation municipale, permettant de reconnaître et donc valoriser les produits de l'élevage familial sur la commune. Les dispositifs peuvent aussi faciliter des démarches plus poussées de valorisation des produits locaux, tels que

les labels.

Gérer des processus multiscalaires et d'hybridation

Une autre contribution des dispositifs territoriaux à la transition agro-écologique est la promotion des processus multi-scalaires. La gestion des ressources collectives, l'organisation des acteurs et la gouvernance des processus propres à l'agro-écologie ne peuvent se penser qu'en articulant différents niveaux d'échelle.

Le paysage est le niveau souvent pertinent pour penser les fonctionnalités et la protection des ressources naturelles. Mais pour les gérer, cette échelle n'est pas suffisante : le plus souvent, les paysages ne correspondent en effet à aucune structure décisionnelle. Les nouvelles règles agro-écologiques d'usages des ressources sont par conséquent multi-scalaires. Elles sont édictées à des niveaux décisionnels englobants, tels que les collectivités territoriales, et mises en œuvre à des échelons décisionnels plus restreints, opérationnels, tels que les exploitations agricoles ou les communautés. Pour édicter ces cadres, la commune est souvent privilégiée car elle correspond au niveau le plus décentralisé de l'État. Mais d'autres dispositifs territoriaux peuvent choisir la petite région, comme dans le cas du Pôle syndical de la Borborema, ou l'échelle intercommunale dans le cas des arrangements productifs locaux au Brésil. Tous ces schémas sont possibles si les cadres réglementaires existent et sont reconnus, permettant aux instances décentralisées d'exercer un pouvoir de régulation.

Ainsi, concilier des usages locaux avec des cadres réglementaires existants et conjuguer des pratiques locales ou innovantes avec des règles de droit instituées sont au cœur de l'action des dispositifs territoriaux. Ils facilitent de la sorte les hybridations entre normes extérieures (établies par l'État central, par les marchés ou les politiques publiques) et endogènes, conduisant à leur reconnaissance mutuelle et à leur légitimité. Ce processus améliore aussi l'adaptation des politiques publiques aux réalités locales, comme cela a été le cas avec le Pôle syndical de la Borborema qui a mis en œuvre des programmes nationaux (« P1MC » ou « Un million de citernes » ; « P1 + 2 » ou « Une terre et deux eaux »).

S'inscrire dans le temps long et gérer la coexistence

des modèles agricoles

Penser la transition agro-écologique oblige à inscrire les dispositifs territoriaux dans des temps longs, en fonction des rythmes de l'innovation et des apprentissages, mais aussi des agro-écosystèmes, dont les impacts des pratiques sont plus lents en agro-écologie qu'en système conventionnel. Pourtant les dispositifs territoriaux ne s'affranchissent pas des rythmes rapides des conjonctures politiques, électorales notamment. Par exemple, dans l'État du Pará en Amazonie brésilienne, les arrangements productifs locaux, encouragés en 2010 par une alliance politique entre l'État fédéral et l'État fédéré, ont été profondément modifiés après les élections de 2014. L'opposition a gagné dans le Pará, rompant la logique précédente, supprimant les appuis techniques et financiers aux arrangements productifs locaux. Le dispositif territorial s'est alors soldé par un échec, du fait du manque de continuité des politiques publiques.

Une autre caractéristique des dispositifs territoriaux est qu'ils cherchent parfois à assurer les conditions de coexistence entre les divers modes de production agricole. L'agro-écologie s'inscrit en effet dans des territoires où les formes d'agriculture et les techniques de production sont très variées, des plus conventionnelles aux plus biologiques. Or, pour consolider une vraie transition sur le temps long, le territoire dans sa globalité doit collaborer. Une transition serait incomplète voire conflictuelle si elle s'appuyait sur une seule catégorie d'agriculteurs. Pour ce faire, l'information, l'apprentissage, la construction des normes, la recherche de compromis et de synergies sont autant d'opportunités, pour le dispositif territorial, de réduire les divergences. Au Laos (cf. encadré 16.2), la cohérence se construit grâce à un plan d'aménagement des terres du village, plan établi de manière concertée. Dans le cas du *municipe* de Paragominas, présenté dans l'encadré 16.4, l'expérience de certification territoriale repose sur un zonage municipal et une cohérence entre les différents systèmes agricoles.

Les conditions requises pour un bon fonctionnement des dispositifs territoriaux

Des similitudes avec la gestion des biens communs

Pourquoi considérer les dispositifs territoriaux comme des biens communs ? Si l'on se réfère aux qualités de non-exclusivité et de rivalité qui définissent ces biens communs (Ostrom, 1993), les espaces de négociation que constituent les dispositifs territoriaux se caractérisent bien par un accès ouvert (chacun peut y participer) mais dont les ressources sont limitées, notamment en termes de financements et de projets. Ceux-ci doivent nécessairement faire l'objet de négociation entre les parties prenantes. Ainsi, le cadre des critères de durabilité d'institutions locales édicté par Ostrom pour les biens communs reste d'actualité pour assurer le bon fonctionnement des dispositifs territoriaux. Rappelons, sans les discuter, quelques-uns de ces critères : adaptation des règles régissant l'utilisation des biens communs aux besoins des communautés et aux conditions locales ; participation des personnes concernées par les règles à leur modification ; respect par les autorités extérieures des droits des membres de la communauté ; autocontrôle du comportement des membres de la communauté ; gouvernance multi-niveaux de la ressource commune ; règlement des différends par des moyens accessibles et peu coûteux.

Mais ces préceptes ne sont pas suffisants dans le cas de la transition agro-écologique. Notre conception des dispositifs territoriaux implique une réflexion plus large sur les acteurs, les instruments, l'apprentissage, l'innovation et la nature de l'information à mobiliser pour aider à la décision. La logique d'action des dispositifs territoriaux focalisés sur la transition agro-écologique mobilise notamment des acteurs très différents, aux intérêts encore plus différenciés que ceux de communautés régissant un bien commun. Cette transition s'inscrit dans de fortes asymétries de pouvoirs et de capacité à s'organiser collectivement. Créer un bien commun autour des dispositifs territoriaux s'avère compliqué mais cela devrait être leur finalité. En particulier, l'organisation des relations avec les élus locaux est capitale. À Paragominas par exemple, l'implication du maire est un élément décisif du processus car il a le pouvoir *in fine* de faire évoluer les normes-clefs.

Un accompagnement nécessaire

La capacité d'innovation du dispositif territorial, elle-même liée à la qualité de l'accompagnement dont il a pu bénéficier, est un autre facteur indéniable de succès, comme dans le cas des plateformes d'innovation. L'accompagnement permet aux dispositifs territoriaux d'organiser la

transition autour des réponses adéquates aux besoins des populations locales. C'est essentiel pour leur appropriation au sein des territoires. Dans ces conditions, les dispositifs privilégient également des processus de co-construction de connaissances, d'expérimentations techniques ou sociales, et de co-conception en partenariat. Ces processus s'inscrivent dans le temps long de la sensibilisation, de l'appropriation et de la formation. Un accompagnement par des spécialistes peut faciliter, inciter, favoriser les interrelations entre acteurs et conduire à augmenter le capital social et institutionnel. Or, c'est bien cette qualité des liens sociaux, y compris ceux établis entre secteurs privé et public, qui anime au jour le jour les dispositifs territoriaux. Ces liens influent sur le bon fonctionnement des processus de gouvernance et sur la mobilisation des acteurs. Ils contribuent à une prise de décision améliorée, à des relations de pouvoir mieux équilibrées et à une réelle implication des élus. Les structures de gouvernance doivent pour cela bénéficier d'un fonctionnement clair et transparent, où ces liens puissent être identifiés, voire stimulés.

La qualité de l'information

Les dispositifs territoriaux dépendent de la structuration de l'information et des savoirs nécessaires à la transition y compris dans leur dimension sociale et politique. Ils doivent produire une information utile (pertinente au regard des questions posées), utilisable (appropriable par les acteurs) et réellement utilisée (grâce au processus d'apprentissage des acteurs). La communication et la transparence des informations sont importantes. Des moyens pédagogiques et des supports adaptés doivent être proposés. La production de documents synthétiques, facilement compréhensibles, par exemple sous la forme de cartes, est essentielle. Au Burkina Faso, disposer d'un document simple expliquant les règles d'usage des ressources a été un élément déterminant de l'appropriation de la charte foncière. Au Laos, les représentations en 3D permettent une visualisation et une perception fine des paysages. Produire de l'information et organiser les processus d'accompagnement des acteurs en charge des politiques locales est spécifique aux dispositifs territoriaux.

Des apprentissages

Cela dit, au-delà des outils, même dans des contextes qui s'avèrent

contraignants, c'est avant tout la qualité du processus de construction des dispositifs territoriaux qui conditionne leurs succès. Ne pas brûler les étapes, se donner du temps et construire de réels processus d'apprentissage sont des facteurs qui impactent le degré d'appropriation des dispositifs et donc leur légitimité. Celle-ci est considérée comme une « relation sociale qui confère à un acteur une capacité reconnue à produire de l'être-ensemble » (Lévy et Lussault, 2003). L'être ensemble traduit la volonté d'une société à transformer les conflits d'intérêts en une coopération productive, mutuellement profitable. Ce défi important associe les dispositifs territoriaux de l'approche des communs. La phase de diagnostic et de construction des dispositifs territoriaux doit systématiquement engager une réflexion sur les pratiques productives en cours et leur mise en perspective, d'où l'obligation et la compétence de ne pas sanctuariser les discours, de questionner, de déconstruire les certitudes, de dépasser les discours rhétoriques ou politiques partisans et de gérer les conflits souvent nombreux. Il s'agit d'instaurer une véritable animation pour le développement et de mobiliser les compétences adéquates pour cela.

Le rôle de la médiation et de la recherche

Dans cette perspective, les dispositifs territoriaux pourraient être assimilés à des *living labs* (« laboratoires vivants »). Un *living lab* considère les utilisateurs comme des acteurs-clefs dans le processus d'innovation (Niitano *et al.*, 2006 ; Schumacher et Niitano, 2008). Ce concept est générique : ses déclinaisons théoriques et méthodologiques sont diverses et se traduisent dans une grande diversité d'expériences[56].

Les *living labs* organisent des communautés d'utilisateurs afin de faire émerger, co-crée et expérimenter des innovations portant sur des enjeux de société. Fortement marqués par l'innovation en entreprise, ils ont surtout agi dans des écosystèmes locaux, sur des innovations précises et sur des projets sectoriels les empêchant de vraiment mobiliser les communautés de manière globale. Certains *living labs* revendiquent des entrées territoriales (Doyon *et al.*, 2015 ; Scaillerez et Tremblay, 2017). Ils sont plus ambitieux, font référence aux démarches de développement territorial et portent une vision plus intégrée des questions sociétales.

Par ailleurs, les *living labs* ont souvent proposé des outils, en particulier les technologies de l'information et de la communication, surestimant le rôle

de l'information au détriment de celui de l'animation. Or, cette dimension est capitale pour les dispositifs territoriaux. En effet, le passage de la réflexion à l'action ne peut être effectif qu'en allouant des moyens à de l'ingénierie territoriale (ensemble des moyens humains, des méthodes et des missions concourant à l'élaboration et à la conduite d'un projet territorial, ainsi qu'à la définition, au montage et à la mise en œuvre d'actions, selon Rey-Giraud, 2012), pour assurer une animation. Celle-ci repose sur une méthode de travail qui peut se résumer par quelques mots-clés, caractérisant autant d'étapes : partir des expériences passées, mobiliser les compétences et les connaissances, gérer et faire circuler l'information, définir des cadres de réflexion et de références, élaborer des cahiers des charges, mettre en place, accompagner et évaluer. Le rôle des médiateurs est ici déterminant pour créer des situations d'apprentissage où les acteurs peuvent définir ou redéfinir leurs pratiques, leurs valeurs et dépasser les routines défensives (Argyris et Schön, 1996). Les techniques de l'animation permettent aussi de limiter l'hégémonie de certains groupes ou de personnes et les influences politiciennes néfastes. Les outils sont au service de l'animation.

Ceux-ci sont plus ou moins sophistiqués. Ainsi, au Laos, les jeux de rôle et le travail avec une représentation en trois dimensions sont utilisés pour définir des règles de gestion, en apportant un appui à la négociation entre les villageois et les administrations locales autour d'objectifs de production agricole et de services écosystémiques. À Paragominas, un travail important de discussions, de mobilisations, d'augmentation des capacités a été nécessaire pour engager les agriculteurs familiaux et leurs représentants dans un processus d'apprentissage, nécessaire à l'établissement de relations de partenariats équilibrés avec la mairie, et ainsi contribuer au projet de certification territoriale.

La capacité d'adaptation

Le succès à long terme des dispositifs territoriaux dépend largement de leurs capacités d'adaptation aux évolutions internes et externes des territoires. Les processus d'évaluation (notamment des impacts des normes) doivent être mis en œuvre pour s'assurer que les contraintes et les normes ne dépassent pas les bénéfiques et que la diversité des formes d'action des acteurs ne soit pas restreinte. Il faut donc penser la mise en place d'un dispositif territorial comme un processus permanent

d'évaluation et de création de références communes et de normes souples, porté par une « vision » de la durabilité du territoire. Cette notion d'évaluation ne renvoie pas à un jugement ponctuel sur des choix effectués, mais appréhende le sens et l'impact des actions, ce qui suppose leur analyse critique et la compréhension des situations dans lesquelles elles s'insèrent. Pour mener cette analyse critique, la formation et l'apprentissage sont indispensables. Les dispositifs peuvent alors évoluer vers des observatoires territoriaux pour constituer ce que l'on dénomme des « territoires intelligents », qui associent l'ingénierie des connaissances et la mobilisation de technologies de l'information, le renforcement des capacités, l'évaluation des politiques publiques et la constitution de ces observatoires. Le territoire s'impose alors comme un construit permanent, en constante appropriation car les conditions de l'environnement et de l'action collective ne sont pas immuables au cours du temps.

Efficacité et légitimité

Enfin, pour assurer les conditions de fonctionnement et de succès aux dispositifs territoriaux, il faut que les arrangements institutionnels et les instruments mis en place soient reconnus efficaces. La certification territoriale amène-t-elle davantage d'attractivité pour le territoire ? Les chartes foncières ont-elles réellement permis une gestion plus efficiente des usages des ressources ? Les plans d'occupation des sols assurent-ils une meilleure adéquation aux potentialités et aux usages locaux ? Les normes produites sont-elles porteuses de sens pour les acteurs et *in fine* sont-elles respectées et efficaces ? Les compétences issues de ces processus aident-elles à construire de nouveaux rapports de force favorables à l'agro-écologie ? Ici, c'est la légitimité des outils et des produits face à l'épreuve des faits qui est en question.

Conclusion

La transition agro-écologique est un processus complexe qui implique des changements techniques, sociaux et institutionnels. Parce que cette transition mobilise une diversité d'acteurs et de groupes sociaux à plusieurs échelles, parce que les changements techniques concernent en premier lieu les exploitations agricoles, mais avec des impacts à ressentis à d'autres échelles parce que des filières entières sont concernées, les actions

collectives et publiques ancrées dans les territoires ruraux doivent se renforcer. C'est l'objectif des dispositifs territoriaux qui tiennent une place prépondérante dans l'échiquier de la transition agro-écologique.

Nous avons montré que ces dispositifs territoriaux constituent un assemblage complexe d'éléments en interaction. Ils combinent des éléments matériels (structures de gouvernance, instruments, pratiques...) et immatériels (normes, idées, savoirs, objectifs...). Cet assemblage doit faire sens pour les acteurs en vue de l'objectif affiché d'une transition agro-écologique. Il doit aussi apporter de la cohérence au regard des défis territoriaux dans le temps (durabilité), dans les espaces (organisation des paysages, relations ville-campagne) et entre les activités (agriculture et autres usages des ressources ...).

Malgré leur nécessaire diversité, quatre éléments génériques émergent de l'analyse. Ce sont des systèmes normatifs territoriaux ; ils procèdent d'une intentionnalité et ont une dimension politique ; ils tendent à une institutionnalisation progressive ; ils veulent transformer les systèmes d'activité, l'action collective et le territoire. Détaillons ces éléments génériques.

Dans une perspective de régulation, les dispositifs territoriaux structurent des systèmes normatifs territoriaux. Ils déterminent pour cela des arrangements entre acteurs (les règles du jeu) et réglementent des systèmes productifs alternatifs (les règles d'usage des ressources). Les premiers déterminent comment les acteurs s'organisent et comment ils gèrent leurs interactions pour définir les normes d'usage des ressources et un projet collectif, les seconds correspondent à ces normes et au projet, aux résultats du processus d'organisation. Ces systèmes normatifs, une fois mis en place, « contraignent » l'action par des instruments spécifiques.

Les dispositifs territoriaux procèdent d'une intentionnalité et ont une dimension politique forte où l'objectif est d'impliquer les différentes catégories d'acteurs, y compris les élus. Ces deux caractères des dispositifs territoriaux — normatifs et politiques — les différencient des plateformes d'innovation.

Les dispositifs territoriaux tendent à une institutionnalisation progressive. Encadrant et canalisant l'action des acteurs par un processus de création de normes et de valeurs partagées, ils suivent une phase de construction puis d'application de normes. Cette progression permet de canaliser les

énergies, de construire des référentiels communs au travers d'expérimentations, d'évaluer les normes. La qualité de ces processus concourt à la légitimité des dispositifs territoriaux, et donc à leur degré de reconnaissance et d'appropriation.

Les dispositifs territoriaux veulent modifier les pratiques des acteurs et favoriser l'action collective. Ils mettent en débat les fonctionnalités des agroécosystèmes et les pratiques qui y sont liées. L'analyse des pratiques est le support des débats et la base des négociations. Cela permet de construire un projet de transition agro-écologique qui dépasse les discours rhétoriques ou politiques partisans. Les dispositifs territoriaux ont enfin une dimension territorialisante (Girard et Rivière-Honeeger, 2014). Ils responsabilisent chaque usager de l'espace quant à ses propres pratiques, qui concourent à une réappropriation de l'espace, de ses ressources, de ses contraintes. Ils modifient en cela les rapports aux territoires et apportent une vision territorialisée des problèmes et solutions. C'est aussi le cas dans le champ des politiques publiques pour la transition agro-écologique : elles seront mieux adaptées aux réalités locales, à même de faire de meilleurs choix techniques, financiers, économiques, logistiques.

Mais au-delà de ces éléments génériques, les trajectoires de chaque dispositif territorial sont très diverses, confirmant que la transition agro-écologique n'est pas unidirectionnelle, qu'il faut nécessairement expérimenter et évaluer, d'un point de vue technique, organisationnel et institutionnel. Les dispositifs territoriaux en agro-écologie ne sont donc pas transposables en tant que tels puisqu'ils résultent d'un processus d'innovation localisé, défini selon les problèmes et les potentialités territoriales. Pour les multiplier, mieux vaut organiser une logique d'échange et de traductions (Callon, 1986) entre territoires, afin de favoriser les apprentissages, et ainsi provoquer l'émergence d'un projet local.


Ces considérations dévoilent la double réalité : le « mou » et le « dur » des dispositifs territoriaux, pour reprendre les termes utilisés par Pasquier et Weisbein (2007). D'un côté, le « mou » est constitué par la flexibilité, les ajustements continus, l'expérimentation sociale permanente, la porosité des frontières, des espaces et du jeu des acteurs. De l'autre côté, le « dur » des dispositifs est leur instrumentation (Lascoumes et Le Gales, 2003) qui s'appuie sur les normes, les règles. Ces deux réalités vivent et s'enrichissent mutuellement. Un juste équilibre doit assurer les conditions

d'institutionnalisation et d'efficience des dispositifs. Trop de « mou » favorise la dilution des responsabilités et le manque de cadrage des actions ; trop de « dur » enferme le processus et limite, voire empêche, les évolutions.


La construction sociale et politique d'une transition agro-écologique est le fruit d'efforts de partage et de consolidation d'une identité collective, forgeant un projet alternatif de développement territorial. L'efficience des dispositifs territoriaux dépend d'un profond changement de mentalité des acteurs, surtout ceux des filières agricoles conventionnelles, mais aussi des élus locaux. Ce changement doit déboucher sur de nouvelles valeurs sociétales et de nouvelles territorialités. C'est la voie prometteuse, mais difficile, pour que le dispositif territorial constitue un bien commun, suscitant la confiance et la solidarité entre les acteurs territoriaux.

Références

Argyris C., Schön D.A., 1996. *Organizational Learning II*, Addison-Wesley, Boston, États-Unis, 305 p.

Bourgoin J., Castella J.-C., Hett C., Lestrelin G., Heinimann A., 2013. Engaging local communities in low emissions land-use planning: A case study from Laos. *Ecology and Society*, 18 (2), 9, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05362-180209> .

Callon M., 1986. Éléments pour une sociologie de la traduction : La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année sociologique*, 36, 169-208.

Castella J.-C., 2009. Assessing the role of learning devices and geovisualisation tools for collective action in natural resource management: Experiences from Vietnam. *Journal of Environmental Management*, 90 (2), 1313-1319, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.010> .

Chambers R., Conway G., 1992. Sustainable rural livelihoods: Practical concepts for the 21st century, IDS Discussion Paper 296, IDS, Brighton.

Doyon M., Rochman J., Fontan J.M., Klein J.J., Ducruc S., Xiao J., Yorn C., Fortin J., Dugré S., 2015. L'approche *Living Lab* et l'aménagement des

espaces ouverts agricoles : Un exemple en région métropolitaine de Montréal. *Journal of Urban Research* [en ligne], 6.

Foucault M., 1975. *Surveiller et punir*, Gallimard, Paris, 318 p.

Girard S., Rivière-Honeeger A., 2014. En quoi les dispositifs territoriaux de la gestion de l'eau peuvent-ils être efficaces ?, *Sciences eaux & territoires*, 1 (13), 32-36.

Gliessman De S.R., 2015. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*, 3^e édition, CRC Press, Boca Raton, États-Unis, 371 p.

Griffon M., 2006. *Nourrir la planète*, Odile Jacob, Paris, 431 p.

Griffon M., 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Quæ, Versailles, 224 p.


Knox A., Meinzen-Dick R., 1999. Property rights, collective action and technologies for natural resource management, CGIAR SP-CAPRI, Policy Brief n° 1,

Lascoumes P., Le Gales P., eds 2004. *Gouverner par les instruments*, Presses de Sciences Po, Paris, 370 p.

Lévy J., Lussault M., 2003. *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, 1 127 p.

Mazoyer M., Roudart L., 1997. *Histoire des agricultures du monde, du Néolithique à la crise contemporaine*, Le Seuil, 533 p.

Niitano V.-P., Kulkki S., Eriksson M., Hribernik K.A., 2006. State-of-the-art and good practice in the field of *Living labs*. In : *Proceedings of the 12th International Conference on Concurrent Enterprising: Innovative Products and Services through Collaborative Networks*, Milan, Italie, 349-357.

Ostrom E., 1993. Design principles in long-enduring irrigation institutions. *Water Resources Research*, 9 (7), 1907-1912, <https://doi.org/10.1029/92WR02991> .

Pasquier R., Weinstein J., 2007. La « gouvernance territoriale » : une

perspective pragmatique. In : *La Gouvernance territoriale : Pratiques, discours et théories* (R. Pasquier, V. Simoulin, J. Weinstein, eds), 211-235.

Petersen P.F., Mussoi E.M., Soglio F.K.D., 2012. Institutionalization of the agroecological approach in Brazil: Advances and challenges. *Journal of Sustainable Agriculture*, 37, 103-114.


Piroux M., Silveira L., Diniz P., Duque G., 2010. La transition agro-écologique comme une innovation socio-territoriale. In : Coudel E., Devautour H., Soulard C., Hubert B., eds) ISDA 2010, Jun 2010, Montpellier, France. Cirad-Inra-SupAgro.

Ploeg Van der J.D., 2008. *Camponeses e Impérios Alimentares: Lutas por autonomia e sustentabilidade na era da globalização*, UFRGS, Porto Alegre, Brésil, 376 p.

Polge E., Piroux M., 2017. Analyse des dynamiques d'interaction dans les dispositifs de gouvernance territoriale en Amazonie brésilienne : Position et rôle des *gatekeepers*. *Revue canadienne de science régionale*, 40 (2), 175-184.

Polge E., Torre A., Piroux M., 2016. Dynamiques de proximités dans la construction de réseaux socioéconomiques territoriaux en Amazonie brésilienne. *Géographie, économie, société*, 18 (4), 493-524.

Rey-Giraud G., 2012. Ingénierie territoriale : À question technique, réponse politique, Les notes d'ETD, le centre de ressources du développement territorial, 12 p.

Scaillerez A., Tremblay D.G., 2017. *Coworking, fab labs et living labs : états des connaissances sur les tiers lieux*. *Territoire en mouvement : Revue de géographie et aménagement*, 34, <https://doi.org/10.4000/tem.4200> .

Schumacher J., Niitano V.P., 2008. *Living labs: A new approach for human centric regional innovation*, Wissenschaftlicher Verlag, Berlin, Allemagne, 181 p.

Tonneau J.P., Sautier D., Valette E., Figuié M., Massardier G., Caron P., 2017. Le territoire : Un vecteur de réponse à la crise du développement. In : *Des territoires vivants pour transformer le monde* (P. Caron, E. Valette, T. Wassenaar, G. Coppens d'Eeckenbrugge, V. Papazian, eds),

éditions Quæ, Versailles, 27-34.

Torre A., Rallet A., 2005. Proximity and localization. *Regional Studies*, 1, 47-59.

Vall E., Diallo M.A., Fako Ouattara B., 2015. De nouvelles règles foncières pour un usage plus agro-écologique des territoires en Afrique de l'Ouest : L'ingénierie écologique pour les services d'approvisionnement et socio-culturels. *Sciences, eaux & territoires*, 16, 52-56.

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515.

Whiteside M., 1998. Living farms: Encouraging sustainable smallholders in Southern Africa, Earthscan Publications, Londres, Royaume-Uni, 217 p.

CHAPITRE 17

Politiques publiques d'appui à l'agro-écologie en Amérique latine : leçons et perspectives

Jean-François Le Coq, Éric Sabourin, Muriel Bonin, Sandrine Fréguin Gresh, Jacques Marzin, Paulo Niederle, Maria Mercedes Patrouilleau, Luis Vásquez

L'Amérique latine et la Caraïbe constituent une région particulièrement intéressante en matière d'émergence et de développement de modèles productifs et alimentaires alternatifs, visant à répondre aux enjeux environnementaux, sociaux, économiques et de santé publique. En effet, cette région est particulièrement confrontée aux impasses et dérives d'une agriculture conventionnelle, issue de la révolution verte, et portée par des formes de production agro-industrielles souvent irrespectueuses de l'environnement dans un cadre beaucoup moins régulé qu'en Europe et en

Amérique du Nord. Cette agriculture conventionnelle, intensive en intrants chimiques, produit des aliments chargés en pesticides qui menacent la santé publique et consomme de grandes quantités d'eau (Segrelles, 2001 ; Carrasco *et al.*, 2012 ; HLPE, 2015). De plus, elle s'est souvent mise en place dans un contexte d'accaparement foncier au détriment des populations indigènes et paysannes (Borras *et al.*, 2011 ; Baquero et Gómez, 2014). Face à ces dérives, des modèles productifs et agroalimentaires alternatifs ont été proposés par les producteurs, les chercheurs et les mouvements sociaux et parfois repris par les pouvoirs publics dans certains pays.

Ainsi, alors que dans de nombreux pays, divers acteurs souhaitent effectuer une transition agro-écologique (Collado *et al.*, 2013, Sabourin *et al.*, 2017), la promotion et l'accompagnement de cette transition par des politiques publiques deviennent un enjeu important. Ce chapitre propose de faire un état des lieux des politiques en faveur de la transition agro-écologique en Amérique latine et dans la Caraïbe. Il vise à comprendre comment et dans quels contextes ces politiques ont surgi, et propose une lecture critique des apports de ces expériences en cours.

Ce chapitre s'appuie sur une étude conduite en 2016 et 2017 par un collectif de chercheurs du réseau Politiques publiques et développement rural en Amérique latine (PPAL) qui a réalisé des études de cas dans huit pays en Amérique latine et dans la Caraïbe (Mexique, Cuba, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Brésil, Argentine et Chili)[57]. Ces études conduites à une échelle nationale sont basées sur une grille d'analyse commune comprenant cinq entrées :

- les conceptions d'agriculture plus respectueuses des enjeux environnementaux présentes dans les politiques ;
- la trajectoire des mouvements sociaux et des politiques ;
- les contenus des politiques ;
- leurs effets au niveau sectoriel ou territorial ;
- les principaux défis et perspectives.

Ces études de cas reposent sur des analyses bibliographiques (littérature académique et documents de politique) et des entretiens ciblés auprès de personnes-ressources et d'acteurs des mouvements sociaux et des administrations publiques des pays concernés.

Concepts mobilisés et leur insertion dans les politiques

L'agro-écologie latino-américaine propose de transformer radicalement les systèmes agricoles et alimentaires pour relever les défis environnementaux et sociaux (Altieri, 2017). Elle s'oppose à un modèle conventionnel tourné vers l'exportation et fondé sur les principes de la révolution verte (Toledo, 2012). Popularisée grâce aux travaux de chercheurs comme Miguel Altieri et Stephen Gliessman, elle est portée par des mouvements sociaux qui ont su constituer des coalitions conduisant à sa prise en compte par les politiques publiques. Les instruments de ces politiques sont variés et s'insèrent souvent dans des programmes qui appuient également l'agriculture biologique et l'agriculture durable.

Principales conceptualisations d'une agriculture plus respectueuse des enjeux environnementaux

En Amérique latine et dans la Caraïbe, la transition vers une agriculture prenant davantage en compte les enjeux environnementaux est revendiquée par des acteurs et des politiques publiques différents qui cherchent à promouvoir trois principaux modèles d'agriculture : l'agriculture biologique, l'agro-écologie et l'agriculture durable. Ces modèles qui coexistent dans les différents pays de cette région ont émergé à différentes périodes (fig. 17.1).

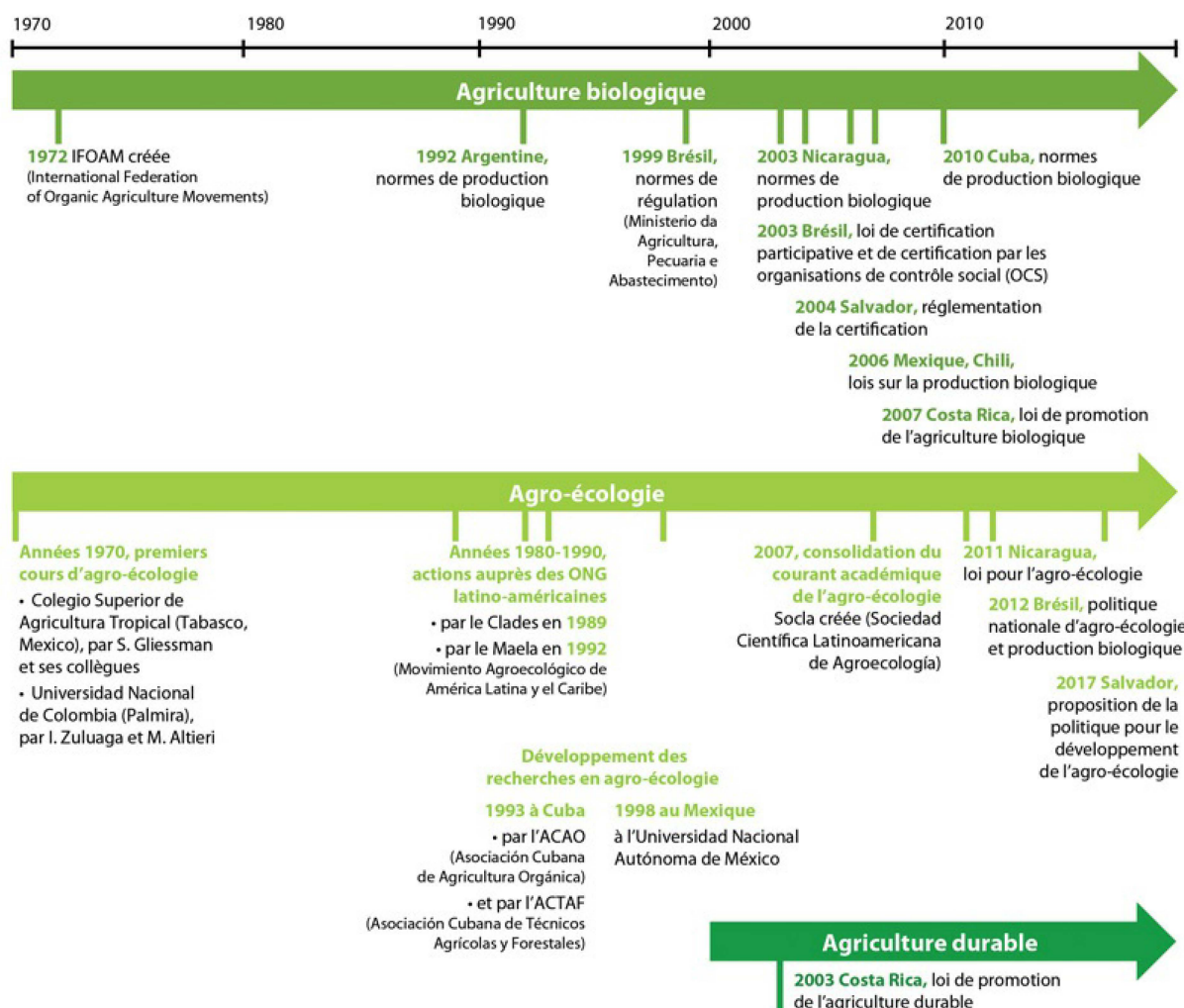


Figure 17.1. Dynamiques d'émergence et d'institutionnalisation des différents concepts d'agriculture plus respectueux des enjeux environnementaux en Amérique latine et Caraïbe. D'après Altieri (2015) et Sabourin *et al.* (2018).

L'agriculture biologique

L'agriculture biologique est le modèle le plus ancien puisqu'il date des années 1920 (Vogt, 2007). Le projet de l'agriculture biologique (*agricultura orgánica* en espagnol et *organic agriculture* en anglais) vise à établir des systèmes de production préservant les sols, les écosystèmes et les personnes, et basés sur les processus écologiques, le maintien de la biodiversité et la spécificité des conditions locales (Ifoam, 2008). Ce modèle d'agriculture est aujourd'hui défini par des normes nationales ou internationales, associées à des processus de certification. En Amérique latine, les produits de l'agriculture biologique sont en général orientés vers l'exportation. Les normes régulant l'agriculture biologique interdisent

l'usage d'intrants non issus de processus biologiques (fertilisation chimique, produits phytosanitaires de synthèse et organismes génétiquement modifiés). Toutefois, autorisant l'usage d'intrants biologiques certifiés, ce mode de production est souvent associé à l'idée d'une substitution d'intrants chimiques par d'autres, sans remise en cause de l'ensemble du modèle de production et des échanges mondialisés.

L'institutionnalisation de l'agriculture biologique s'est faite à partir des années 1980 avec la promulgation de normes de régulation promues par la Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique (Ifoam). Son intégration dans les politiques publiques des pays d'Amérique latine et de la Caraïbe a eu lieu dès les années 1990, avec la création d'un cadre réglementaire normatif : régime de la production biologique de 1992 en Argentine ; norme de production biologique du ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de l'Alimentation de 1999 au Brésil ; norme de production biologique de 2003 au Nicaragua ; régime de la certification organique en 2004 au Salvador ; norme de la production organique en 2010, à Cuba... Au-delà de ces cadres normatifs, certains pays se sont également dotés de politiques spécifiques de promotion de l'agriculture biologique telles que les lois de production biologique du Chili (2006), du Mexique (2007) et du Costa Rica (2007).

L'agro-écologie

L'agro-écologie latino-américaine (*agroecología*) est une proposition plus récente, datant des années 1970, centrée sur l'idée que la prise en compte des défis environnementaux ne pouvait être déconnectée de la transformation profonde du système agro-alimentaire. Si elle partage avec l'agriculture biologique une réticence à l'usage d'intrants non issus de processus biologiques et l'importance d'une production à partir des principes préservant les écosystèmes, l'agro-écologie prône en outre une plus grande autonomie des producteurs vis-à-vis des marchés amont et aval et met en exergue le principe de recyclage au sein des écosystèmes cultivés (Altieri et Toledo, 2011 ; Gliesman, 2006). Elle propose ainsi une modification profonde du système agro-alimentaire et de la relation entre les producteurs et les consommateurs, en prônant la mise en place de circuits courts (ventes directes, marchés de proximité), et la sécurité et la souveraineté alimentaire à l'échelle territoriale. Ainsi, au-delà des aspects de la dimension technique de la production, l'agro-écologie propose une

vision intégrale qui conjugue des aspects sociaux, environnementaux, économiques et culturels, définissant un nouveau modèle de développement rural durable (Maela, 2017). Elle s'oppose ainsi au modèle entrepreneurial principalement tourné vers l'exportation et fondé sur les principes de la révolution verte (Toledo, 2012).

L'institutionnalisation du concept d'agro-écologie en Amérique latine ne s'est pas traduite par l'émergence de normes spécifiques en réponse à des demandes des marchés. Son intégration dans les politiques des pays de la région a pris trois formes.

Dans le cas emblématique de Cuba, l'agro-écologie a d'abord été une réponse à la crise de l'agriculture conventionnelle suite à l'embargo américain puis à la chute de l'URSS, avant d'être un modèle proactif impulsé par un groupe de chercheurs et d'universitaires, ainsi que par des mouvements paysans ou de l'agriculture urbaine. Si le terme « agro-écologie » n'apparaît pas explicitement dans les politiques existantes, les principes de l'agro-écologie latino-américaine sont intégrés dans les politiques de sécurité et souveraineté alimentaire, nutritionnelle et de santé du pays ; et les concepts de l'agro-écologie sont sous-jacents dans un ensemble de politiques publiques, notamment les programmes publics (programmes de lutte biologique, d'agriculture urbaine et périurbaine, d'expérimentation et d'assistance techniques) (Vázquez *et al.*, 2017). Dans d'autres pays, l'institutionnalisation s'est traduite par la mise en place d'une politique nationale, explicitement dédiée à la promotion de l'agro-écologie, telle la politique nationale d'agro-écologie et de production biologique de 2012 au Brésil, ou la loi d'agro-écologie de 2011 au Nicaragua. Enfin, dans les autres pays de la région, tels que le Mexique et dans une moindre mesure l'Argentine, le Chili ou le Costa Rica, le concept d'agro-écologie est également présent, et généralement associé à la revitalisation de l'agriculture paysanne, au maintien de la tradition autochtone de ses indigènes, à travers des pratiques ancestrales comme les associations culturelles (comme par exemple de type maïs/haricot dite *milpa*) et des formes sociales de production (entraide, *tequio*...) et de vie (*buen vivir*). Toutefois, dans ces pays où le poids du modèle agro-industriel reste prépondérant, l'agro-écologie ne fait pas l'objet de politiques spécifiques.

L'agriculture durable

L'agriculture durable (*agricultura sostenible*) est apparue plus récemment à partir des années 1990 dans certains pays d'Amérique latine et de la Caraïbe. Elle propose des ajustements ponctuels du système de production conventionnel par l'adoption de techniques de production particulières visant à fournir ou à préserver des services environnementaux. Elle n'implique ni l'arrêt de l'usage des intrants de synthèse ou d'OGM, ni la remise en cause du fonctionnement du système agroalimentaire ou du système d'échanges dans lequel les producteurs sont insérés.

L'émergence du concept d'agriculture durable fait suite à la prise de conscience des enjeux environnementaux consécutive au Sommet de la Terre (Rio, 1992) et de l'utilisation abusive d'intrants chimiques dans l'agriculture conventionnelle. Ce concept a été mobilisé principalement dans trois des pays étudiés (Costa Rica, Chili et Mexique), à partir des années 2000 où il s'est traduit par des politiques promouvant une agriculture durable avec la reconnaissance des services environnementaux et l'instauration de dispositifs d'incitation financière visant à encourager les agriculteurs conventionnels à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Analyse des trois concepts

Alors que ces trois concepts qui proposent une transition vers une agriculture prenant davantage en compte les enjeux environnementaux sont présents dans l'ensemble des pays d'Amérique latine et de la Caraïbe étudiés, avec des degrés d'intégration et d'institutionnalisation distincts, il convient de souligner qu'ils diffèrent fondamentalement par leurs modalités de prise en compte de l'environnement au sein des systèmes de production (modalité de « verdissement ») et par les caractéristiques des producteurs, des systèmes alimentaires et des modes d'insertion dans les marchés qu'ils soutiennent (tab. 17.1). Néanmoins, nous considérerons dans l'analyse des politiques d'appui à l'agro-écologie, les politiques qui mobilisent à des degrés divers l'un de ces trois concepts, et qui concourent à la transition agro-écologique dans la mesure où elles promeuvent l'adoption de « pratiques agro-écologiques », sans nécessairement prendre en compte l'ensemble des dimensions que comporte le concept d'agro-écologie en Amérique latine.

Tableau 17.1. Principales caractéristiques des trois modèles

d'agricultures intégrant des dimensions environnementales promues en Amérique latine et dans la Caraïbe.

	Indicateurs	Agro-écologie en Amérique latine	Agriculture biologique	Agriculture durable
Au niveau des systèmes de production et pratiques agricoles	Échelle des changements des pratiques	Parcelles, exploitation, paysages, territoires	Parcelles ou exploitation	Parcelle
	Intrants	Peu d'intrants et issus de processus biologiques (principe de recyclage)	Issus de processus biologiques et certifiés	Usage raisonné d'intrants de synthèse
	Semences de type organismes génétiquement modifiés	Non	Non	Oui
	Diversification des productions	Oui	Pas nécessairement recherchée	Pas nécessairement recherchée
Au niveau des types d'exploitation et systèmes alimentaires	Types d'exploitations	Agriculture familiale, paysanne, indigène	Tous	Tous
	Intégration marchande	Limitée	Recherchée	Maximale
	Système alimentaire	Territorialisé	Mondialisé	Mondialisé
	Labellisation des produits	Possible, mais non nécessairement recherchée	Oui, <i>via</i> certification surtout par des tiers	Non

Les processus de construction des politiques en

faveur de l'agro-écologie

Trois principaux processus complémentaires, en tension et/ou en conflit, ont permis la mise en agenda et la construction de politiques en faveur de l'agro-écologie.

Mobilisation des mouvements sociaux

Le principal processus qui a permis la mise en agenda et la construction de politique en faveur de l'agro-écologie est celui de la mobilisation de mouvements sociaux porteurs d'une vision d'agriculture biologique ou d'agro-écologie, en lien avec des représentants et défenseurs de l'agriculture familiale ou paysanne, et avec l'appui de la coopération technique internationale. Ce processus a été déterminant pour l'élaboration de politiques nationales d'agro-écologie (Brésil et Nicaragua) mais aussi dans d'autres cas (Chili, El Salvador).

Ainsi, au Brésil, l'adoption de la Politique nationale d'agro-écologie et de production biologique en 2012 résulte d'un travail d'influence d'un large réseau « pro-agro-écologie » qui s'est mobilisé pendant les deux mandats de la présidence de Lula (2003-2010). Ce réseau est issu de la convergence entre des mouvements en faveur de l'agriculture familiale, de la réforme agraire, et des mouvements agro-écologiques (auxquels se sont joints des scientifiques et des ONG). La dynamique de ce réseau a bénéficié de l'existence d'instances participatives entre le gouvernement et la société civile, permettant le dialogue entre mouvements sociaux, élus et universitaires, au sein d'entités comme le Conseil national de développement durable et d'agriculture familiale, ou le Conseil national de sécurité alimentaire et nutritionnel. Enfin, la mobilisation des femmes rurales a été déterminante pour convaincre la présidente Dilma Rouseff dès son premier mandat (2011-2014) (Schmitt *et al.*, 2017).

Au Nicaragua, la promulgation de la loi de promotion de l'agriculture agro-écologique et biologique en 2011 est le produit de dix années de lutte d'une coalition large de mouvements sociaux et de syndicats militants de l'agro-écologie, d'agriculture biologique et de défense des paysans, associée à des universitaires et des fonctionnaires, et comptant sur l'appui de la coopération internationale (Fréguin-Gresh, 2017).

Au Chili, la création du comité d'agro-écologie coordonné par l'Institut de développement agraire est une réponse aux revendications des mouvements d'agro-écologie formés par des organisations paysannes (Martinez *et al.*, 2017).

À El Salvador, le projet de politique pour la promotion de l'agro-écologie présenté au gouvernement en 2017 résulte de la mobilisation d'une coalition impliquant des ONG et des associations favorables à l'agro-écologie, associées au Groupe de dialogue rural et au Comité national d'agriculture familiale (Moran, 2017).

Répondre aux crises géopolitiques, économiques ou environnementales

Le deuxième processus ayant facilité l'émergence des politiques favorables à la transition agro-écologique correspond à la recherche de réponses à des crises géopolitiques, économiques ou environnementales.

En effet, certains pays (Cuba, Argentine, Nicaragua) ont initié une transition agro-écologique suite à des crises ayant affecté l'agriculture conventionnelle. À Cuba, la pratique de l'agro-écologie est une réponse à la crise géopolitique de 1993.

En Argentine, la crise financière de la fin des années 1980, caractérisée par l'hyperinflation, a motivé les politiques d'appui à la population rurale, périurbaine, urbaine et pauvre, et la mise en œuvre du programme *Prohuerta*. Initié en 1990, ce programme, qui visait à diffuser par une approche participative la production de légumes pour l'autoconsommation en facilitant l'accès aux semences, à l'eau et aux marchés (marchés paysans) des producteurs urbains et périurbains, a connu ensuite une extension au milieu rural suite à la crise financière de 2000-2001 (Patrouilleau *et al.*, 2017).

Au Nicaragua, l'agro-écologie naît, comme à Cuba, en réponse à la pénurie d'intrants de synthèse pendant la période de conflits des années 1980, mais aussi comme alternative à la domination d'un modèle capitaliste agro-industriel dans les années 1960-1970. La promotion de l'agro-écologie est également une réponse aux crises environnementales aigües liées au modèle de production agro-exportateur du coton, ainsi

qu'aux crises climatiques, comme celle liée à l'ouragan Mitch en 1998 qui avait isolé de nombreuses régions du pays de toute communication, privant une grande partie des agriculteurs de l'accès aux intrants chimiques (Fréguin-Gresh, 2017).

Initiatives des pouvoirs publics

Le troisième processus renvoie à des initiatives impulsées par les pouvoirs publics. Dans certains pays comme le Mexique, le Chili ou le Costa Rica, les politiques en faveur de la transition agro-écologique correspondent surtout à des propositions gouvernementales en termes d'agriculture durable, en réponse aux pressions sociales et internationales en matière de normes environnementales, telles la loi de développement rural durable de 2001 au Mexique et la loi de promotion de l'agriculture durable de 2002 au Costa Rica.

Ces politiques peuvent également soutenir l'agriculture biologique ou la promotion de pratiques agro-écologiques.

C'est le cas au Chili, avec l'intégration de celles-ci dans les programmes d'assistance technique et de subventions aux investissements de l'Institut de développement agricole, et avec l'intégration d'un système de certification alternatif dans la loi d'agriculture biologique. Ce système de certification alternatif permet ainsi aux petits producteurs familiaux de commercialiser leurs produits biologiques dans divers types de points de vente (Martinez *et al.*, 2017).

Au Costa Rica, suite à l'initiative d'un député, une loi de promotion de la production biologique a été formulée en 2007 par le Mouvement de l'agriculture biologique, avec le soutien de fonctionnaires du ministère de l'Agriculture. Elle a facilité la mise en place par celui-ci d'un programme de reconnaissance pour bénéfices environnementaux en 2013, qui promeut l'adoption de pratiques agroenvironnementales et biologiques (Sáenz *et al.*, 2017).

Diversité des politiques et instruments en faveur de l'agro-écologie

Configurations de politiques en faveur de l'agro-écologie

Dans tous les pays d'Amérique latine et de la Caraïbe étudiés, les processus mentionnés précédemment ont conduit à l'instauration de diverses formes d'appui à la transition agro-écologique, et quatre types de configuration nationale de politiques en faveur de l'agro-écologie peuvent être identifiés.

Le premier type de configuration correspond aux pays dotés d'une régulation de l'agriculture biologique, mais qui n'ont pas de politique spécifique en faveur de l'agro-écologie, et qui dans le cadre de politiques environnementales et de la gestion des ressources naturelles, de la biodiversité ou de la promotion de la sécurité alimentaire, favorisent le changement de pratiques pour une agriculture durable. Ainsi, le Mexique dispose d'une loi de régulation de l'agriculture biologique (Loi des produits biologiques, 2006), d'une loi de développement rural durable (2001) et d'une loi de la biodiversité régulant l'usage des OGM (2005). Le Chili s'est doté d'une loi pour la production biologique (2006) qui, dans le cadre de sa politique d'appui à l'agriculture familiale et de promotion de l'agriculture durable, intègre des principes de l'agro-écologie. Enfin, le Costa Rica, au-delà de sa loi pour la promotion de l'agriculture biologique, a mis en place des mesures agro-environnementales dans le cadre du programme de reconnaissance des bénéfices environnementaux.

Le second type de configuration est celle des pays qui sont dotés d'une régulation et d'instruments visant à promouvoir la production biologique. Ils favorisent également l'agro-écologie avec des politiques de sécurité alimentaire et d'appui à l'agriculture familiale (cas du programme *Prohuerta* en Argentine, cas d'El Salvador).

Le troisième type de configuration correspond aux pays qui ont mis en place des politiques spécifiques promouvant à la fois l'agro-écologie et l'agriculture biologique : Le Brésil avec la Politique nationale d'appui à l'agro-écologie et à l'agriculture biologique (2012) et le Nicaragua avec la Loi de promotion de l'agro-écologie et de l'agriculture biologique (2011).

Enfin, des pays soutiennent l'agro-écologie sans politique dédiée, mais avec des politiques ou des programmes ayant pour perspective l'appui à l'agriculture paysanne ou familiale (Argentine, en 2001) ou l'agriculture

paysanne ou urbaine (Cuba, en 1993).

Diversité des instruments pour l'agro-écologie

Dans tous les pays étudiés, des instruments favorables à l'agro-écologie ont été instaurés *via* des politiques spécifiques ou/et *via* des politiques de soutien à l'agriculture familiale, urbaine ou périurbaine, de sécurité alimentaire, de gestion des ressources naturelles, des politiques agro-environnementales ou de réponse au changement climatique. Quatre grands types d'instruments sont ainsi actuellement mis en place en Amérique latine et dans la Caraïbe.

Citons tout d'abord les instruments de gestion des innovations et des connaissances en agro-écologie. Cette catégorie d'instruments de nature cognitive vise à renforcer les capacités des producteurs à gérer leur exploitation et leur territoire selon les principes de l'agro-écologie. Ces instruments sont présents dans la majorité des pays étudiés, à l'image des réseaux de circulation des connaissances (tels que les réseaux « paysans à paysans » / « *campesino a campesino* » au Nicaragua) qui proposent la sauvegarde, l'expérimentation et les échanges technologiques entre producteurs. Au Chili, des programmes de l'Institut de développement agraire visent à renforcer ces réseaux d'échange mais également à valoriser des produits issus de systèmes de production paysans *via* un label « Main paysanne » (*Manos Campesinas*) (Martinez *et al.*, 2017). Au Mexique, ont été lancés des programmes tels que celui de modernisation durable de l'agriculture traditionnelle (Masagro) implanté depuis 2010 (Pulido et Chapela, 2017).

Viennent ensuite les instruments favorisant l'accès à la terre et à l'eau. Ils sont présents avec une intensité variable à divers degrés selon les pays et ont pris la forme de programmes de redistribution et de légalisation de terres. S'ils ont quasiment partout disparu, le cas des programmes brésilien et cubain est notable.

Suivent les instruments de régulation et de promotion des produits et de leur insertion aux marchés. Présents dans la grande majorité des pays, ils contribuent à promouvoir l'agriculture biologique et l'agro-écologie. Ils sont de deux types : les régulations et normes, d'une part, et les programmes en faveur de la commercialisation des produits biologiques et agro-écologiques d'autre part. Les premiers sont présents dans tous les

pays étudiés avec des régulations de la production biologique qui déterminent les cahiers des charges des produits et les règles de certification. Si dans la plupart des pays, les certifications par des tiers répondent essentiellement aux demandes des marchés internationaux, quelques-uns ont mis en place des processus de certifications alternatifs pour les marchés nationaux, tels que la certification participative (Costa Rica) ou gérés par des organisations de contrôle social (Brésil). Ces certifications encadrent la production biologique et, dans certains cas, la production agro-écologique (Brésil). Ces régulations permettent de discriminer les productions biologiques certifiées des productions agro-écologiques ne faisant pas l'objet d'une certification.

Les instruments d'appui à la commercialisation des produits biologiques ou agro-écologiques visent à promouvoir la mise en place de marchés de proximité et de circuits courts : foires, paniers, coopératives de consommateur. En Amérique latine, ils consistent également en des programmes d'achats publics préférentiels des produits issus de l'agriculture familiale avec un prix bonifié pour les produits biologiques ou agro-écologiques, comme le programme d'Acquisition d'aliments aux agriculteurs familiaux du Brésil (PAA et PNAE) qui a été adopté par plusieurs pays de la région mais a connu une forte réduction au Brésil sous le gouvernement Temer (Schmitt *et al.*, 2017).

Enfin, les instruments de régulation environnementale et les incitations agro-environnementales regroupent des dispositifs de différentes natures. D'une part, les régulations environnementales interdisent ou réglementent l'usage de certains produits phytosanitaires et d'OGM (par exemple le décret-loi 153 de 1994 de régulation de la santé végétale à Cuba, la loi de biosécurité des OGM de 2005 au Mexique...) ; bien que ne se focalisant pas sur la promotion de l'agriculture biologique ou l'agro-écologie, et passant par des difficultés de contrôle effectif, elles constituent un élément-clef de l'adoption de pratiques agro-écologiques ou biologiques. D'autre part, les régulations sur l'usage du sol interdisent la production ou certaines pratiques dans certaines zones, par exemple dans les zones de recharge hydrique (loi du sol au Costa Rica...), ce qui incite les producteurs à adopter des pratiques plus favorables à l'environnement.

Au-delà de ces réglementations, des incitations économiques positives et directes ont été mises en place dans le cadre de politiques environnementales, agro-environnementales ou de lutte contre le

changement climatique (Reconnaissance des bénéfices environnementaux au Costa Rica, loi de l'environnement à Cuba, protection de la biodiversité au Mexique...). Quoique parfois non ciblés sur l'agriculture familiale et paysanne, ces instruments encouragent néanmoins l'adoption de pratiques spécifiques en lien avec les principes de l'agro-écologie.

Bilan et perspective des politiques et instruments actuels

Même si au cours de la dernière décennie, on assiste à l'émergence de politiques et instruments favorables à l'agro-écologie, ces dernières restent fragiles et minoritaires face au courant dominant qui soutient l'agriculture conventionnelle à grande échelle, et leur mise en œuvre dépend des rapports de force existant dans chaque pays entre les tenants d'un modèle conventionnel et ceux de formes alternatives d'agriculture.

Avancées et limites

L'analyse de l'évolution des formes d'agriculture alternative et des politiques qui favorisent leur extension montre plusieurs avancées. En premier lieu, il convient de souligner la consolidation progressive au cours de la dernière décennie d'un tissu d'organisations de producteurs, d'organisations d'appui (ONG, syndicats), d'acteurs académiques et de fonctionnaires sensibles aux dynamiques environnementales au sein des administrations publiques. Ils ont construit des coalitions capables d'insérer, dans les agendas des politiques agricoles et dans des politiques spécifiques ou généralistes, des instruments en faveur d'une transition agro-écologique. De fait, on observe une reconnaissance croissante des acteurs de l'agro-écologie et de l'agriculture biologique par une partie des administrations publiques et l'ouverture d'espaces de participation, de consultation et de négociation institutionnalisés (Argentine, Brésil, Chili, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua). Par ailleurs, on peut souligner l'insertion de principes de l'agro-écologie dans les politiques de souveraineté, de sécurité alimentaire et d'appui à l'agriculture familiale, souvent associée à une prise de conscience de l'intérêt de l'agro-écologie pour faire face à de nouveaux enjeux, tels ceux liés au changement climatique.

Néanmoins, le développement de l'agro-écologie rencontre plusieurs limites et difficultés. Dans la plupart des pays d'Amérique latine et de la Caraïbe étudiés, les politiques agricoles demeurent principalement orientées vers la promotion de l'agro-industrie et des exportations, en lien avec les intérêts des grands propriétaires fonciers et les entreprises de vente d'intrants chimiques, et avec l'assentiment des fonctionnaires des administrations publiques agricoles qui soutiennent le paradigme de la révolution verte. L'asymétrie de pouvoir, entre les mouvements et coalitions en faveur de l'agro-écologie (et/ou de l'agriculture biologique) et ceux en faveur de l'agriculture conventionnelle, est énorme et fait souvent obstacle à la prise en compte des questions environnementales. De surcroît, ce déséquilibre est aggravé dans la plupart des pays d'Amérique latine et de la Caraïbe étudiés, par le fait que la coordination entre les mouvements en faveur de l'agro-écologie et ceux en faveur de l'agriculture biologique est fragile et que des tensions sur les orientations entre ces mouvements réduisent leur capacité à maintenir ou à mettre en application les politiques obtenues lors de leurs combats communs. Enfin, le secteur de l'agro-écologie reste relativement invisible du fait de la carence d'informations et de statistiques portant sur ses producteurs et marchés.

Par ailleurs, bien qu'ils existent dans l'ensemble des pays de la région, les politiques et instruments favorables à l'agro-écologie manquent souvent de visibilité, et leur mise en œuvre est fragmentée entre divers acteurs des administrations publiques. En outre, il existe des lacunes en termes de recherche sur les pratiques agro-écologiques ou les outils de vulgarisation adaptés à leurs particularités (prise en compte des conditions agro-écologiques locales, adaptabilité des innovations aux contextes socio-économiques des producteurs, exigences en travail...). Un changement de paradigme dans la formation des techniciens agricoles et des responsables de service dans les administrations agricoles (plus ou moins amorcé selon les pays) s'avère nécessaire afin de lever ce frein au développement de ces recherches et de ces systèmes d'appui aux producteurs.

Perspectives

Malgré les limites et difficultés actuelles, plusieurs éléments sont favorables à la transition agro-écologique en Amérique latine et dans la Caraïbe. Au-delà des politiques existantes et de la création, certes encore

fragile, de coalitions en faveur de l'agro-écologie, une demande pour des produits issus des modèles alternatifs (biologiques ou agro-écologiques), perçus comme moins polluants et plus sains, est présente dans tous les pays. Cette demande se traduit par un consentement à payer davantage pour ce genre de produits si des garanties sont offertes par la certification ou par les relations de confiance tissées entre producteurs et consommateurs. Cette demande connaît une augmentation structurelle en lien avec l'amélioration croissante du niveau d'éducation et d'information et avec la prise de conscience des populations, en termes de santé et de qualité des aliments. Elle constitue un moteur potentiel important pour le développement de l'agro-écologie. Le second élément favorable vient du contexte international. En effet, la pression des mouvements sociaux et des organisations de producteurs favorables à l'agro-écologie peut trouver des alliances au sein des Nations unies à l'exemple de la FAO qui depuis 2015 mobilise les gouvernements à partir de conférences promues par les pays « amis de l'agro-écologie » (déclaration du Forum international sur l'agro-écologie, 2015).

Conclusion

En Amérique latine et dans la Caraïbe, il existe de plus en plus de politiques publiques spécifiques d'appui à l'agro-écologie et à l'agriculture biologique. Souvent, divers instruments en faveur de l'agro-écologie se trouvent déjà insérés dans différentes politiques sectorielles (sécurité alimentaire, agriculture familiale, communautés indigènes, gestion de la biodiversité, changement climatique...). La lecture historique des trajectoires de ces politiques montre l'importance des crises à l'origine de l'émergence puis de la diffusion de l'agro-écologie. Elle souligne également le rôle de coalitions d'acteurs en faveur de l'agro-écologie et de l'agriculture biologique *via* la convergence des mouvements sociaux issus de l'agriculture familiale ou défendant des modèles de production alternatifs pour des motivations environnementales et de santé.

Malgré ces avancées, la transition agro-écologique et les politiques d'appui à l'agro-écologie se heurtent à plusieurs difficultés : la prééminence dans les politiques et les administrations publiques agricoles d'une orientation vers l'agriculture conventionnelle et la promotion d'un modèle agro-exportateur résultant d'un rapport de force asymétrique entre les tenants de ces modèles ; les questions d'accès à la terre et au conseil technique ; les

problèmes de mise en œuvre et de coordination entre les instruments existants ; la division des mouvements sociaux de promotion de formes alternatives d'agriculture...

Toutefois, des perspectives favorables à la transition agro-écologique sont ouvertes avec, d'une part, la reconnaissance croissante de l'agro-écologie comme une forme concrète d'alternative possible en termes de durabilité et de résilience face aux défis qui affecteront l'humanité et la planète, et avec d'autre part, la demande croissante des marchés locaux pour des produits issus de modèles alternatifs de production.

Dans ce contexte, plusieurs recommandations peuvent être proposées pour renforcer la transition agro-écologique et la mise en œuvre de politiques d'appui en Amérique latine et dans la Caraïbe. En matière de recherche, il convient d'analyser les intérêts et les limites des deux approches existantes : politiques spécifiques *versus* combinaisons d'instruments au sein de politiques sectorielles existantes. Par ailleurs, il est important de combler le vide en matière d'analyse d'impact des politiques spécifiques ou des combinaisons d'instruments existants, ainsi que de produire des données relatives aux différentes politiques (en particulier la répartition des budgets dédiés à la promotion des différents types d'agriculture conventionnelle *versus* ses formes alternatives) et à la situation de l'agro-écologie (nombre de producteurs, niveau de production, de productivité, de revenus...). En effet, au-delà des récits d'expériences locales d'agro-écologie, il n'existe pas de statistiques et d'études à l'échelle nationale pour évaluer le poids des formes alternatives d'agricultures en termes de production, de résultats économiques et de bénéfices environnementaux.

En termes de renforcement des cadres politiques existants et de mise en œuvre des instruments favorables à l'agro-écologie, plusieurs pistes peuvent être considérées. Afin de pouvoir peser politiquement dans les décisions, les acteurs favorables à l'agro-écologie et à l'agriculture biologique sont contraints de dépasser leurs divergences, mais surtout de construire des coalitions qui vont au-delà du secteur agricole, en s'alliant aux consommateurs et urbains qui ont un poids croissant dans les choix politiques. En outre, face aux problèmes de segmentation et de coordination dans la mise en œuvre des politiques et des instruments en faveur de l'agro-écologie, il est important de territorialiser ces politiques publiques. En effet, l'agro-écologie s'intègre dans des territoires particuliers et valorise des conditions physiques et humaines spécifiques.


Sans implication des collectivités territoriales et des acteurs locaux *via* la mise en œuvre de politiques adaptées, les transitions sont difficiles.

Enfin, les expériences des pays d'Amérique latine et de la Caraïbe peuvent inspirer des projets en Afrique et en Asie en faveur du développement de l'agro-écologie et invitent à repenser les stratégies d'intervention en faveur de la transition agro-écologique. Elles montrent l'importance de dispositifs de dialogue et de participation associant les gouvernements et les mouvements sociaux qui soutiennent des modèles d'agriculture alternatifs allant dans le sens d'une prise en compte accrue des enjeux environnementaux (agriculture durable, agriculture biologique) mais aussi sociétaux (agro-écologie en Amérique latine). Ces dispositifs peuvent susciter la création de coalitions d'acteurs qui sont fondamentales pour peser sur les choix conduisant à l'élaboration de politiques favorables à l'agro-écologie. Elles invitent à promouvoir des systèmes de vulgarisation et de conseil agricoles valorisant les savoirs locaux et les territoires. Elles soulignent enfin l'importance de systèmes de commercialisation et d'alimentation qui valorisent leurs produits, *via* la certification par contrôle social, l'appui aux circuits courts et les achats publics de produits agro-écologiques à des prix différenciés et garantis.

Références

Altieri M.A., 2015. Breve reseña sobre los orígenes y la evolución de la agroecología en latino america. *Agroecología*, 10 (2), 7-8.

Altieri M.A., ed., 2017. *Historia de la Agroecología en América Latina y España*, SOCLA, Berkeley, États-Unis, 114 p.

Altieri M.A., Toledo V.M., 2011. The agroecological revolution in Latin America: Rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38 (3), 587-612, <https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947> .

Baquero F.S., Gómez S., eds, 2014. *Reflexiones sobre la Concentración y Extranjerización de la Tierra en América Latina y el Caribe*, FAO, Santiago du Chili, Chili, 166 p.

Borras S.M., Franco J.C., Kay C., Spoor M., 2011. Land grabbing in Latin America and the Caribbean viewed from broader international

perspectives, FAO, Santiago du Chili, Chili.

Carrasco A., Sánchez N., Tamagno L., 2012. Modelo agrícola e impacto socio-ambiental en la Argentina: Monocultivo y agronegocios. Ciudad de La Plata: AUGM-Comité de Medio Ambiente, série Monográfica Sociedad y Ambiente: Reflexiones para una nueva América Latina.

Collado A., Gallar D., Candón J., 2013. Agroecología política: La transición social hacia sistemas agroalimentarios sustentables. *Revista de Economía Crítica*, 16, 247-277.

Déclaration du Forum international sur l'agro-écologie, 2015, Nyéléni, Mali, 27 février 2015, <http://www.fao.org/family-farming/detail/fr/c/341388>. ☞

Fréguin-Gresh S., 2017. Agroecología y Agricultura Orgánica en Nicaragua. Génesis, institucionalización y desafíos. In : *Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 311-350.

Gliessman De S.R., 2006. *Agroecology: The ecology of sustainable food systems*, CRC Press, Boca Raton, États-Unis, 408 p.

HLPE, 2015. Informe del Grupo de alto nivel de expertos: Contribución del agua a la seguridad alimentaria y la nutrición Resumen y recomendaciones, 6/05/2015, HLPE, Rome.

Ifoam, 2008. Definition of organic agricultura, <http://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture> ☞ (consulté le 29/07/2017).

Maela, 2017. Aportes desde Maela (Movimiento Agroecológico de América Latina y el Caribe. In : *Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 401-404.


Martínez Torres H., Namdar-Iraní M., Saa Isamit C., 2017. Las Políticas de Fomento a la Agroecología en Chile. In : *Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 123-156.

Moran W., 2017. Políticas a favor de la producción orgánica y agroecología en El Salvador. *In : Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 233-262.

Patrouilleau M.M., Martínez L.E., Cittadini E., Cittadini R., 2017. Políticas públicas y desarrollo de la agroecología en Argentina. *In : Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 33-72.

Pulido Secundino J., Chapela y Mendoza G., 2017. Agroecología en México: Marco de políticas públicas. *In : Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 263-310.

Sabourin E., Le Coq J.-F., Fréguin-Gresh S., Larzin J., Bonin M., Patrouilleau M.M., Vazquez L.L., Niederle P., 2018. Quelles politiques d'appui à l'agro-écologie en Amérique latine et dans les Caraïbes ? Perspectives, 48, Cirad, Montpellier, 4 p.

Sabourin E., Patrouilleau M.M., Le Coq J.F., Vásquez L., Niederle P., eds, 2017. Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe, Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, 412 p., <https://www.pp-al.org/es/actualites/livre-sur-les-pp-d-agroecologie-a-telecharger> .

Sáenz-Segura F., Le Coq J.F., Bonin M., 2017. Políticas de apoyo a la agroecología en Costa Rica. *In : Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 157-188.

Schmitt C., Niederle P., Ávila M., Sabourin E., Petersen P., Silveira L., Assis W., Palm J., Fernandes G.B., 2017. La experiencia brasileña de construcción de políticas públicas en favor de la Agroecología. *In : Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 73-122.

Segrelles J.A., 2001. Problemas ambientales, agricultura y globalización en América Latina scripta nova. *Revista de Geografía y Ciencias Sociales*, 92.

Toledo V.M., 2012. La Agroecología en Latinoamérica: Tres revoluciones, una misma transformación. *Agroecología*, 6, 37-46.

Vázquez L.L., Marzin J., González N., 2017. Políticas públicas y transición hacia la agricultura sostenible sobre bases agroecológicas en Cuba. In : *Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe* (E. Sabourin et al., eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 189-232.

Vogt G., 2007. The origins of organic farming. In : *Organic Farming: An international history* (W. Lockeretz, ed.), CABI, Wallingford, Royaume-Uni, Cambridge, États-Unis, 9-29.

CHAPITRE 18

Transition agro-écologique des agricultures des pays du Sud : retours d'expériences et perspectives

François-Xavier Côte, Bruno Rapidel, Jean-Michel Sourisseau, François Affholder, Patrick Caron, Jean-Philippe Deguine, Guy Faure, Étienne Hainzelin, Éric Malézieux, Emmanuelle Poirier-Magona, Philippe Roudier, Éric Scopel, Philippe Tixier, Aurélie Toillier, Sylvain Perret

Aujourd'hui, toutes les agricultures du monde sont appelées à s'adapter pour faire face aux demandes sociales, aux enjeux environnementaux, aux dérèglements climatiques. Celles des pays du Sud sont soumises à des défis spécifiques et souvent inédits liés à la croissance démographique, à l'urbanisation rapide, aux marchés mondialisés et à des structures macroéconomiques toujours dominées par les secteurs primaires et informels. Depuis quelques décennies, ces agricultures ont évolué dans des contextes qui compliquent la mise en place de solutions négociées avec les acteurs : le désengagement des États des secteurs agricoles et ruraux ;

l'émergence de nouveaux acteurs avec des enjeux contradictoires et des asymétries fortes entre, par exemple, des organisations de producteurs et des agro-industries mondialisées ; de faibles capacités d'intervention du secteur public qui se traduisent par une insuffisance de biens publics de qualité, en particulier dans les domaines des infrastructures et des services.

Dans un contexte d'intenses transformations, les acteurs du monde agricole doivent donc innover pour s'adapter, garantir résilience et inclusivité, concilier productivité et durabilité environnementale et, au moins en Afrique subsaharienne, s'associer aux autres acteurs du développement en général pour créer massivement des emplois pour des jeunes arrivant toujours plus nombreux sur le marché du travail.

L'agro-écologie dessine un nouveau paradigme pour proposer des systèmes agricoles et alimentaires durables, que nous pensons plus aptes à répondre aux attentes sociétales, aux urgences planétaires environnementales, nutritionnelles et sanitaires, aux orientations politiques de différents pays, aux initiatives internationales, notamment de la FAO (2018), ainsi qu'aux objectifs du développement durable (Caron *et al.*, 2018).

Plus de 20 ans de recherches, d'expérimentations et d'accompagnement de projets en agro-écologie, réalisés en Afrique, à Madagascar et dans l'océan Indien, en Asie du Sud-Est, en Amérique latine et dans les Caraïbes, constituent un capital de résultats et de connaissances considérable que le Cirad et l'AFD ont souhaité valoriser dans cet ouvrage.

Deux champs thématiques se détachent de ces expériences :

- ce que sont et pourraient être les systèmes agro-écologiques performants et adaptés, au travers de démarches de conception et d'évaluation de ces systèmes ;
- la manière dont ces systèmes innovants pourraient être déployés en mobilisant fortement les compétences des sciences de l'homme et de la société.

Ce chapitre de synthèse dresse ainsi un bref bilan des chapitres précédents, avant de proposer, sur la base de ces expériences, des pistes pour mieux accompagner, étendre et accélérer ce processus central qu'est la « transition agro-écologique ».

Transition agro-écologique pour les diverses agricultures du Sud : de quoi parle-t-on ?

Depuis plusieurs décennies, de nombreux modes de production alternatifs ont été proposés comme autant de tentatives de réponses aux défis posés par les changements globaux pour les pays du Sud. Certains (agriculture biologique, agriculture de conservation, agroforesterie, intensification écologique...) ont en commun et à des degrés divers l'optimisation des processus biologiques et écologiques de régulation, la gestion sobre des ressources et la gestion durable des cycles de nutriments. Ils peuvent être considérés comme des systèmes agro-écologiques ou des déclinaisons de ceux-ci. Ils visent ainsi à assurer la production agricole mais également la durabilité environnementale, et à contribuer à une nutrition saine et diversifiée.

Les agricultures du Sud sont extrêmement diversifiées. Les conditions de climat, de sol, d'altitude sont souvent présentées comme une matrice de cette diversité. Le type de productions, les modalités d'accès au foncier et aux intrants, les connexions aux marchés, le capital investi, le degré d'intensification et les différents modes de production rendent cette diversité infinie. De ce fait, chaque société rurale a une dynamique propre et les choix qu'elle fait en matière de mode de productions ou de structuration de filières ont des impacts environnementaux, économiques et sociaux spécifiques. En conséquence, l'agro-écologie ne peut pas être promue comme un modèle unique à suivre, mais plutôt comme un processus de transformation, opérant dans une situation à chaque fois spécifique et selon une multitude de trajectoires possibles.

L'agro-écologie repose dans ses principes fondateurs sur la gestion de processus écologiques pour produire des services environnementaux, mais implique aussi souvent une dimension sociale et politique dans la transformation des modes de production, et plus largement des systèmes alimentaires globaux[58]. Cette agro-écologie à dimension sociale et politique, que l'on pourrait appeler « agro-écologie forte »[59], se positionne en rupture avec le modèle d'intensification conventionnel. À l'opposé, l'agro-écologie que l'on pourrait qualifier de « faible » est souvent contestée par les tenants de la première approche qui la considèrent comme un simple « verdissement » de l'agriculture intensive conventionnelle par l'adoption de quelques pratiques. Pour mieux préciser ces différences, on peut se référer à la notion d'agriculture durable pour le

développement, dont le Comité des Nations Unies pour la sécurité alimentaire mondiale (HLPE^[60], 2016) a défini les trois piliers :

- améliorer l'efficacité des ressources de production, des ressources naturelles et de l'environnement ;
- renforcer la résilience des systèmes (capacité à réagir et à s'adapter aux chocs) ;
- assurer l'équité et la responsabilité sociale.

Dans ce cadre, la définition de l'agro-écologie « faible » s'intéresse principalement au premier pilier alors que l'agro-écologie « forte » intègre les trois.

Le Cirad et l'AFD font ensemble l'hypothèse que, face à l'ampleur et à l'urgence des défis posés par les changements globaux, la majorité des modes de production dans les pays du Sud, quel que soit leur degré d'intensification, doit s'inscrire dans une démarche de progrès économique, environnemental et social, en s'appuyant sur les concepts de l'agro-écologie.

Quel que soit le type d'agriculture considéré, deux grands types de leviers pour une transition agro-écologique, fondamentalement liés, sont identifiés dans les différents chapitres de l'ouvrage.

Le premier est de nature technique et est fondé sur une meilleure mobilisation de la biodiversité fonctionnelle pour améliorer les performances des systèmes de culture ou d'élevage, réguler naturellement les attaques des bioagresseurs et réduire l'utilisation des pesticides. Il prend également en compte l'objectif de maintien ou d'amélioration, y compris à long terme, de l'efficacité d'utilisation des ressources naturelles (eau, énergie, sols...) et celui de la gestion des cycles biogéochimiques pour réduire l'usage de nutriments exogènes à l'écosystème et diminuer les risques d'eutrophisation des eaux par la fuite de nutriments hors du système exploité.

Le second levier est de nature cognitive et organisationnelle et s'appuie sur l'importance de dynamiques concertées entre les producteurs et l'ensemble des acteurs du développement agricole dans la mise en place des systèmes agro-écologiques, de l'échelle de la parcelle à celle du pays, en passant par le territoire. Il s'intéresse à la manière de travailler ensemble (diversité des acteurs et des rapports de pouvoir, des stratégies et des capacités) et aux services pour l'accompagnement à l'innovation. Il prend en compte les

dimensions politiques (rôles et formes de l'action publique requise) de la transition.

La transition agro-écologique apparaît alors comme l'ensemble des processus, techniques et organisationnels, liés, par lesquels de nouveaux modes de production basés sur les principes de l'agro-écologie remplacent progressivement et durablement des systèmes résultant de l'intensification conventionnelle — ayant débouché sur l'utilisation massive d'intrants de synthèse —, ou bien permettent à des agricultures à très faible productivité d'intensifier leur production sans reproduire ce schéma d'intensification conventionnelle. Il s'agit d'aboutir dans un cas comme dans l'autre à une agriculture capable d'assurer la sécurité alimentaire globale et locale de manière durable dans toutes les dimensions à considérer. Les transformations s'accompagnent le plus souvent de la recherche d'une plus grande autonomie des systèmes, et donc des acteurs, par rapport aux intrants et services liés, généralement maîtrisés par des acteurs économiques de grande taille. La transition suppose donc inévitablement des choix politiques forts — sources de tensions — et donc des négociations.

Si pour le Cirad et l'AFD, la transition agro-écologique englobe à la fois l'intensification écologique (Griffon, 2013) des agricultures à faibles intrants et la réduction des intrants de l'agriculture issue de l'intensification conventionnelle, il convient cependant dans ce dernier cas de réserver le terme de transition agro-écologique à des modifications profondes de ces systèmes, impliquant à la fois une réorientation de la façon de produire et une préoccupation de durabilité économique et sociale des territoires dans lesquels ils s'insèrent. Le tableau 18.1 synthétise ce que pourrait apporter l'agro-écologie aux différentes formes d'agriculture du Sud.

Tableau 18.1. Apport potentiel des solutions agro-écologiques aux différents types d'agricultures du Sud.

Fonctions visées	Types d'agriculture		
	Agriculture familiale à bas niveau d'intrants	Agriculture basée sur les principes d'intensification conventionnelle	Monoculture intensive et mécanisée
Maintenir ou augmenter			

la production			
Améliorer le revenu des agriculteurs et la résilience des exploitations	+++	+	
Réduire les impacts environnementaux négatifs	+	+++	+++
Promouvoir les services autres que ceux de la production	++	++	+
Favoriser l'emploi rural digne	+++	++	+
Adapter les agricultures au changement climatique	+++	+	+
Contribuer à l'atténuation du changement climatique		++	++

Le nombre de croix exprime l'intensité de cet apport.

Les systèmes alimentaires sont eux aussi en évolution, en réponse aux défis posés par les changements globaux. Le terme de transition agro-écologique n'est pas le plus approprié pour décrire la transition de ces systèmes (l'agro-écologie est basée sur le rapprochement de l'agronomie et de l'écologie dont les concepts ne sont que très partiellement mobilisés dans les systèmes de transformation). Cependant, leur amélioration possède des objectifs communs et complémentaires avec la transition des secteurs de production : promouvoir une nourriture saine et variée, une meilleure efficacité de l'utilisation des ressources en eau et en énergie, et des autres ressources naturelles, la réduction des pertes et du gaspillage, la promotion des circuits courts et des certifications participatives. Transition agro-écologique des systèmes de production et transition des systèmes de transformation et de distribution sont donc deux composantes indissociables pour la mise en œuvre de systèmes alimentaires durables.

Les leviers techniques fondés sur la

Les leviers techniques fondés sur la mobilisation de la biodiversité fonctionnelle

Les retours d'expériences présentés dans cet ouvrage permettent de distinguer quatre principaux types de leviers biologiques et biophysiques de la transition agro-écologique dont les principales fonctions sont résumées dans le tableau 18.2.

Mobiliser la biodiversité fonctionnelle pour favoriser la lutte contre les bioagresseurs et les régulations naturelles

Un résultat commun aux études rapportées dans cet ouvrage concerne la régulation des bioagresseurs par des techniques de mobilisation de la biodiversité fonctionnelle et, par voie de conséquence, l'évitement ou la réduction de l'usage des pesticides. L'usage de cette biodiversité permet de réduire leurs dynamiques de développement par des processus de compétitions et de prédatons variés (chap. 6 et 7) auxquels sont parfois ajoutées des barrières physiques de type filet anti-insectes (chap. 4). La structure des communautés végétales et animales présentes dans l'agrosystème influence en outre la nature et l'intensité des régulations biologiques (chap. 2, 7 et 11).

Les expériences présentées confirment également une amélioration de l'utilisation des ressources naturelles, en particulier l'énergie lumineuse, l'azote, le carbone de l'air, l'eau et les nutriments, dans les systèmes basés sur les principes de l'agro-écologie. Cet objectif est atteint par la maximisation de la production de biomasse, en mobilisant des plantes de service, en associant des cultures, en pratiquant des rotations et en renforçant le fonctionnement biologique du sol (chap. 2, 5, 6, 7 et 11).

L'augmentation judicieuse de la biodiversité fonctionnelle favorise alors la production, la stabilité et la résilience du système face aux aléas (sécheresse, organismes invasifs, etc.). Il est également possible d'obtenir une meilleure stabilité de la production agricole en augmentant la diversité génétique interspécifique (cultures associées, assolements diversifiés, rotations, introduction du pâturage) et en associant plusieurs strates de la végétation comme dans l'agroforesterie (chap. 1, 2, 6, 9 et 11).

du système (chap. 2 et 6). Les techniques de biocontrôle ciblent des interactions hôte-parasite ou des vecteurs, et exercent une action directe sur certaines composantes de la biodiversité (chap. 7). Le diagnostic de la biodiversité fonctionnelle du sol permet d'améliorer sa gestion et de renforcer ainsi ses services écologiques (chap. 2, 5 et 11).

La biodiversité fonctionnelle se gère au niveau de la parcelle et à sa périphérie (haies, fossés, bandes enherbées, etc.), et également au niveau du bassin versant et du territoire (chap. 5). Si la mobilisation de la diversité n'est pas en soi une solution universelle, les expériences décrites témoignent des progrès très importants réalisés dans la maîtrise des systèmes multi-espèces et dans l'ingénierie des plantes de service (chap. 2, 5, 6 et 7). L'utilisation du concept de traits fonctionnels a notamment permis de caractériser le potentiel des plantes de couverture à rendre un ensemble de services en fonction de certaines de leurs caractéristiques et à raisonner leur déploiement dans l'espace et dans le temps (chap. 2, 5, 6 et 11).

Gérer de façon durable le cycle des nutriments

Les pratiques agro-écologiques visent à conserver quantitativement et qualitativement les ressources en eau et en nutriments, en évitant, par exemple, par une couverture permanente de la surface du sol, l'érosion et la compaction des sols. Elles ont pour but également de favoriser l'infiltration de l'eau et la recharge des nappes, tout en limitant les pertes de nutriments occasionnées par le ruissellement et la lixiviation (chap. 2 et 5). Au cours des cycles de l'azote et du phosphore, à la base des productions végétales, peuvent se produire des pertes d'éléments dans le milieu, entraînant des gaspillages de nutriments, de matière organique et d'énergie, ainsi que des problèmes de pollution de l'eau et de l'air, et des émissions de gaz à effet de serre (chap. 13). Pour éviter cela et améliorer l'efficacité de la production, la transition agro-écologique conduit à favoriser « la fermeture » des grands cycles (c'est-à-dire à éviter la fuite de nutriments hors du système exploité) en combinant une série de pratiques : fixation biologique d'azote, stockage de carbone et de nutriments dans la matière organique des sols, recyclage et valorisation des engrais de ferme, combinaison des systèmes de culture et d'élevage, sélection des races animales et des variétés végétales sur leur efficacité de capture et de valorisation des ressources, rotations et itinéraires techniques des cultures

animales et des variétés végétales sur leur efficacité de capture et de valorisation des ressources, rotations et itinéraires techniques des cultures favorisant une synchronisation de la disponibilité et de la demande par les plantes (chap. 1, 3, 5, 6, 8 et 11).

Gérer les paysages

L'agencement judicieux dans l'espace des parcelles et de leur environnement (mosaïques paysagères) peut renforcer le contrôle de certains bioagresseurs, étendre l'habitat de certains organismes auxiliaires régulateurs, favoriser les services de la pollinisation (chap. 5, 6 et 7). Intégrer la gestion agro-écologique dans l'aménagement d'une mosaïque paysagère au sein d'un territoire permet également de mieux préserver des ressources cruciales (l'eau et les sols) et de limiter les flux de nutriments ou de pesticides vers le milieu naturel. Cette gestion de l'organisation spatiale des parcelles passe par l'utilisation de dispositifs enherbés et de haies (chap. 5, 7, 8 et 11).

Renouveler les cibles de l'amélioration génétique des plantes et des animaux

La transition agro-écologique entraîne de nouveaux défis pour l'innovation génétique (chap. 2 et 9). Les connaissances des fonctionnements écologiques transforment les objectifs de sélections végétale et animale et questionnent le choix des caractères et des idéotypes, afin de mieux prendre en compte les interactions potentielles des plantes et des animaux, entre eux et avec leur environnement.

L'optimisation des interactions biologiques et écologiques implique en particulier de contextualiser les solutions variétales, c'est-à-dire de mieux intégrer les réalités locales des systèmes de production, les successions et les associations avec d'autres plantes, la diversité génétique disponible, etc. Cela conduit à élargir la diversité des objectifs et des critères de sélection, à considérer dans certains cas des échelles de temps et d'espace plus vastes que la parcelle ou l'exploitation, et à intégrer dans les démarches de sélection les savoirs et les usages locaux. La diversité et la rapidité des changements écologiques, techniques, économiques et sociaux engendrent de nouvelles questions sur la stratégie de déploiement variétal

que de cibler un génotype idéal passe-partout. De nouvelles façons de gérer la diversité génétique sont explorées pour rechercher cette meilleure adaptation, en particulier par des modalités participatives de sélection (diffusion déconcentrée, formules variétales ouvertes, identification des mécanismes sous-jacents des interactions entre plantes, sélection multi-génotypique, affinage local des variétés, etc.).

La promotion de la diversité au sein des systèmes à travers la mobilisation et la gestion d'une plus grande biodiversité fonctionnelle, la diversité des plantes mobilisables pour apporter différents services au sein de l'espace cultivé et ses alentours, les ruptures techniques et organisationnelles avec des systèmes standards, la prise en compte des échelles supra-parcellaires conduisent au développement de systèmes plus complexes et imposent également une implication nouvelle et forte des producteurs, des techniciens et des conseillers mais aussi des acteurs des territoires et des filières pour développer des modes de production agro-écologiques. Les différents chapitres de la première partie témoignent que cela passe en premier lieu par une très bonne prise en compte des savoir locaux et par une démarche participative au sein de laquelle les producteurs ont un rôle central de diagnostic, de prototypage de nouvelles solutions, d'évaluation et d'adaptation de ces prototypes.

Tableau 18.2. Leviers techniques de la transition agro-écologique pour les régulations naturelles.

Leviers techniques biophysiques	Fonctions visées					
	Mobiliser la biodiversité fonctionnelle			Favoriser l'interaction agriculture-élevage	Organiser les mosaïques paysagères	Renouveler les cibles d'amélioration génétique
	Plantes de service	Association de cultures	Rotations			
Lutter contre les bioagresseurs et les adventices à l'aide de régulations biotiques	+++	+++	+++		++	++
Améliorer la						

biotiques						
Améliorer la nutrition des plantes et l'efficacité d'utilisation des nutriments	+++	++	+++	+++	+	++
Recycler les ressources et gérer les cycles de l'eau et des nutriments	++	+	+++	+++	++	+
Limiter l'érosion	+++	++	+++		+	

Le nombre de croix exprime l'intensité du potentiel des leviers sur différentes fonctions.

Les leviers cognitifs et organisationnels

Cet ouvrage souligne combien les avancées en matière de transition agro-écologique relèvent de changements tant au niveau individuel (ce que l'acteur sait et comment il agit) que collectif (comment l'action collective s'organise). Les leviers cognitifs et organisationnels sont donc essentiels pour permettre le déploiement d'alternatives agro-écologiques aux modèles de production basés sur une intensification conventionnelle. Il est reconnu que des changements dans les cadres de pensée et les pratiques de travail doivent avoir lieu aux différents niveaux où s'organise l'activité agricole : territoires, filières, organisations de producteurs, etc. Ces changements peuvent être suscités de diverses manières, de façon plus ou moins supervisée (chap. 14), à travers la mise en œuvre de dispositifs d'intervention ou la mise à disposition de services support pour répondre aux besoins spécifiques des acteurs de la transition.

Au fil des chapitres, trois types de dispositifs d'appui à des changements cognitifs et organisationnels ont ainsi été analysés et apparaissent

coordination et la mise en accord de diverses catégories d'acteurs ayant un rôle dans le déploiement des alternatives agro-écologique (chap. 14) ;

- des « dispositifs territoriaux » qui appuient la réorganisation des activités dans les territoires (chap. 16) ;
- des cadres institutionnels inédits qui appuient l'essor de nouvelles filières, notamment liées à l'agriculture biologique, et l'évolution de filières traditionnelles et permettent le développement de politiques publiques en faveur de l'agro-écologie (chap. 14, 15, 17).

Chacun de ces dispositifs repose sur une vision des changements à opérer, sur des méthodes d'accompagnement des apprentissages individuels et collectifs, sur de nouvelles compétences spécifiques à la transition agro-écologique. Ils proposent par exemple des activités visant à :

- identifier et valoriser la diversité des stratégies et des capacités des producteurs, et favoriser la participation active et l'engagement volontaire de ceux-ci dans la transition agro-écologique de leurs systèmes (chap. 5, 10, 14, 15 et 16) ;
- stimuler la capitalisation, la transmission des savoirs (scientifiques ou issus des pratiques des producteurs), la valorisation des retours d'expérience, l'apprentissage des producteurs et des ruraux (pair à pair, démonstrations, essais, formation) (chap. 5 et 16) ;
- améliorer l'engagement et les capacités des services d'appui aux producteurs (chap. 14 et 16) ;
- susciter l'engagement des opérateurs aval et amont des filières (chap. 9) (par exemple pour la fourniture de semences), l'approvisionnement en intrants et en matériels mécanisés adaptés ;
- prendre en compte les besoins et les attentes des consommateurs dans une vision prospective à court et long termes, favoriser la mise en marché des productions s'appuyant sur des pratiques agro-écologiques, proposer des normes de reconnaissance des produits issus de productions à haute valeur environnementale et sociale (chap. 15) ;
- favoriser l'engagement politique et institutionnel des décideurs, garants d'un accompagnement des initiatives locales et territoriales par des cadres politiques et juridiques adaptés (lois, réglementations, instruments économiques, financiers et fiscaux) (chap. 10, 16 et 17).

Ces activités requièrent de nouveaux profils d'agents de développement, des facilitateurs ou des accompagnateurs de ces partenariats d'innovation multi-acteurs ou des réseaux de développement qui portent le changement. En conséquence, la formation et l'éducation doivent également évoluer en

des facilitateurs ou des accompagnateurs de ces partenariats d'innovation multi-acteurs ou des réseaux de développement qui portent le changement. En conséquence, la formation et l'éducation doivent également évoluer en parallèle pour former aux nouveaux métiers liés à la transition (chap. 2, 5, 6, 7, 10, 14 et 16).

Les plateformes d'innovation : un accompagnement de proximité

Les auteurs confirment l'importance de l'accompagnement de proximité mais en soulignent aussi les difficultés et limites (chap. 1, 2, 10, 14, 15 et 17). Les dispositifs les plus aboutis actuellement concernent principalement la production agricole à l'échelle des exploitations et des filières régionales, impliquant essentiellement des agriculteurs et leurs interlocuteurs directs amont et aval. La vocation de ces dispositifs d'accompagnement est généralement de : contribuer à la construction et à l'échange des savoirs et des pratiques des acteurs locaux ; faciliter l'action collective, l'évolution des pratiques collaboratives et catalyser les relations entre de multiples organisations ; faciliter la planification de l'action, le suivi-évaluation et la capitalisation.

Certaines de ces plateformes font partie des 21 dispositifs de recherche et de formation en partenariat (DP) que co-anime le Cirad avec ses partenaires dans les différents pays du Sud.

Des contrastes forts sont inhérents à la transition agro-écologique et influencent l'opérationnalité de ces plateformes d'innovation :

- des temporalités contrastées ainsi que le temps long des apprentissages, de la construction du capital social et humain et de l'expression tangible de résultats, s'opposent au temps court des attentes des acteurs souhaitant des résultats rapides sollicité par les bailleurs du développement (chap. 14) ;
- des intérêts divers entre acteurs rendent difficile la construction d'une vision partagée sur les problèmes et leurs solutions.

Si les plateformes d'innovation sont en mesure d'enclencher des dynamiques, elles peinent souvent à les mener à leur terme en peu de temps. Une des solutions est d'envisager la prolongation du fonctionnement de ces plateformes au-delà du terme des projets, pour atteindre les objectifs visés (chap. 14). Mais indépendamment de ce

acteurs le plus adapté à chaque situation (plateforme, réseau, partenariat d'innovation). De même, le faire à différentes échelles (locale, régionale, nationale) permet de traiter avec les acteurs concernés les questions pertinentes à chaque échelon territorial. Les résultats soulignent aussi la nécessité de renouveler les formes d'appui et de financement des plateformes, afin qu'elles soient plus flexibles, centrées sur le renforcement des processus collaboratifs et cognitifs, et non pas seulement sur l'obtention de résultats technico-économiques (chap. 10 et 14). Enfin, toutes les expériences menées montrent la priorité qu'il y a à renforcer les capacités des individus en charge de conduire l'innovation : des producteurs eux-mêmes, mais aussi des agents de changement (techniciens, conseillers agricoles, formateurs ou encore animateurs ruraux). Ces orientations et ces adaptations seront à même de rendre ces dispositifs plus efficaces et de faciliter la transition agro-écologique.

Les dispositifs territoriaux : impliquer le territoire et le politique

La meilleure valorisation des actifs disponibles dans les territoires, par la mise en œuvre d'approches renouvelées, est un des éléments-clefs du développement (Caron *et al.*, 2017). Les dispositifs territoriaux visent à répondre à cette nécessité pour accompagner la transition agro-écologique (chap. 16). Ils sont complémentaires des fonctions assurées par les plateformes d'innovation dans la mesure où ils sont centrés sur le territoire, ses spécificités, son contexte politique. Leurs mécanismes et cadres organisationnels et institutionnels (gouvernance) concernent les sphères politiques et les marchés, et sont moins concernés par les processus biotechniques. Le dispositif territorial constitue en lui-même un arrangement institutionnel formalisé entre des acteurs territoriaux, et un assemblage intentionnel d'éléments hétérogènes (normes, discours, pratiques, instruments, outils, structures organisationnelles, savoirs...). L'ensemble est conçu pour répondre à une finalité partagée dans le territoire : susciter, accompagner, consolider la transition agro-écologique en favorisant la valorisation des savoirs locaux et des ressources du territoire, en suscitant des collaborations entre acteurs soucieux de promouvoir l'agro-écologie, en proposant de nouvelles valeurs, des normes et des règles compatibles ou favorables à l'agro-écologie.

Plusieurs principes gouvernent la construction et le déploiement

normes et des règles compatibles ou favorables à l'agro-écologie.

Plusieurs principes gouvernent la construction et le déploiement mobilisateur d'un dispositif territorial (chap. 16) :

- l'implication effective des acteurs comme principe fondamental, commun à toutes les étapes. Les outils de la participation et de l'appui à l'action collective sont ainsi privilégiés, visant la confrontation et l'hybridation des savoirs, la négociation, la recherche de synergies et de points de convergence, la formalisation des accords, l'aide à la résolution des différends...
- le diagnostic initial, comme étape indispensable pour prendre en compte la diversité des acteurs (modèles de production, filières, marchés...) ;
- la reconnaissance partagée de cette diversité et des temporalités dans le changement pour chacun des acteurs et de leurs formes d'organisation ;
- une connaissance précise et partagée des normes externes (cadres de régulation, politiques et mesures d'accompagnement de la transition agro-écologique) et des dynamiques endogènes au territoire (stratégies et objectifs des différents acteurs) ;
- la définition d'un périmètre territorial adapté, du très local (commune) au régional, validé par les acteurs, et dans lequel ils se reconnaissent et se sentent capables d'agir ensemble.

En tant que bien commun, partagé et gouverné par un ensemble d'acteurs locaux, un dispositif territorial assoit sa durabilité sur les mêmes conditions que celles édictées par Ostrom (1993). S'y ajoute toutefois la nécessaire implication de représentants de l'action publique (élus locaux par exemple), dont le rôle s'avère souvent crucial pour engager l'action, interpeller les échelons de gouvernance supérieurs, infléchir la construction des politiques publiques correspondantes. Pour assurer l'appropriation, la participation et l'intérêt soutenu des acteurs locaux, le dispositif territorial doit également rester focalisé sur les objectifs assignés par ces acteurs, sur l'obtention de réponses à leurs préoccupations par des produits adaptés : nouvelles normes locales, chartes, dispositifs de certification, capacités, biens communs gouvernés (pépinières, dispositifs d'approvisionnement, transport). La gestion et la qualité de l'information constituent des éléments cruciaux du fonctionnement d'un dispositif territorial, qui doit produire une information pertinente, utilisable et réellement utilisée (par exemple un référentiel technique sur les expériences menées en agro-écologie dans le territoire). La production de documents synthétiques, facilement compréhensibles, par exemple sous la

non seulement techniques mais aussi organisationnelles. Des méthodes d'animation et de participation novatrices ont montré leur potentiel (jeux de rôle, modélisation participative, méthodes d'échanges *farmer-to-farmer...*).

Des dispositifs institutionnels innovants pour accompagner la mise en marché et l'essor de nouvelles filières

Si, dans la séquence de travaux de recherche et développement sur la transition agro-écologique, les questions liées à la mise en marché des produits de l'agro-écologie sont apparues plus tardivement que celles liées aux systèmes de production, elles n'en sont pas moins essentielles. L'adoption de pratiques agro-écologiques entraîne souvent des pertes de rendement et des coûts additionnels pour le producteur en termes de main-d'œuvre, parfois d'intrants (d'origine biologique), de signalisation et de contrôle. En l'absence d'incitations à produire différemment sous forme de compensations financières offertes par des dispositifs d'aide, ces surcoûts nécessitent de chercher, à travers de nouvelles filières, de nouveaux débouchés plus rémunérateurs et des clients plus attentifs aux questions de qualité et d'environnement. Le couplage entre les pratiques de production agro-écologique et des pratiques commerciales spécifiques est crucial. On relève que la transition peut reposer sur de nouvelles dynamiques marchandes avec une relocalisation des systèmes productifs, une proximité entre producteur et consommateur (vente directe et circuits courts), et l'élaboration de nouvelles normes et dispositifs de garantie (certification des systèmes ou des produits) (chap. 15).

En adoptant une entrée par le système alimentaire, la transition marque une rupture avec le système sociotechnique engendré par la révolution verte, caractérisé par la standardisation des produits, des circuits longs de commercialisation, la présence de nombreux intermédiaires comme les transformateurs et les distributeurs de grande dimension. En effet, les systèmes de transformation et de mise en marché de produits issus de l'agro-écologie sont beaucoup plus diversifiés. Consommateurs, producteurs et transformateurs tissent souvent des relations imbriquées, en réseau, quasi partenariales (Thérond *et al.*, 2017). Ces nouveaux systèmes alimentaires se confrontent avec les anciens, coexistent ou s'hybrident. Le concept de système agroalimentaire localisé (SYAL) et ses applications

réseau, quasi partenariales (Théron *et al.*, 2017). Ces nouveaux systèmes alimentaires se confrontent avec les anciens, coexistent ou s'hybrident. Le concept de système agroalimentaire localisé (SYAL) et ses applications concrètes, bien que non abordé dans l'ouvrage, a été abondamment documenté dans la littérature, et correspond bien à ces nouveaux systèmes à concevoir, alliant des entreprises de petite taille et la territorialisation des différentes fonctions de ces systèmes (production, transformation, mise en marché).

Le chapitre 15 a exploré spécifiquement le sujet de la commercialisation. À partir d'études de cas, ses auteurs ont relevé la diversité des expériences de mise en marché et tiré des enseignements sur les possibilités et les limites de ces dispositifs marchands, dès lors qu'il s'agit d'impacts à des échelles significatives :

- le succès des initiatives en matière de commercialisation des produits de la transition dépend grandement de la force de résistance du système sociotechnique dominant (standardisation des produits, longueur des circuits, exigences en termes de prix, opacité de l'information au consommateur...) ; certaines parviennent à les influencer, contribuent à les modifier, d'autres s'en tiennent à l'écart ;
- l'institutionnalisation de la transformation, la formalisation des modalités de garantie de la qualité, et le rôle des États dans l'accompagnement de la transition, sont des éléments essentiels pour stimuler les innovations et offrir des opportunités à des organisations paysannes et à des territoires en recherche de nouveaux modes de production et de commercialisation ;
- un couplage existe entre pratiques de production et modes de valorisation marchande ; les cas étudiés mettent en évidence que des systèmes de certification forte (portés par des groupes territorialisés ou des mouvements sociaux) sont associés plus systématiquement à des transitions agro-écologiques significatives.

L'évaluation et la production de nouvelles connaissances localisées pour innover et affronter l'incertitude

Les volumes de production par unité de surface et la rentabilité économique restent souvent les seuls indicateurs pris en compte pour

assurées par l'agriculture et replacer la performance des systèmes agro-écologiques par rapport à celle des autres systèmes (chap. 1, 5, 6, 8, 11, 12 et 16).

Le défi de l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles

Les dimensions économiques, sociales et environnementales de la durabilité sont multiples et peuvent agir en synergie ou de manière antagoniste. Les différents acteurs du développement ont chacun leur vision du poids à accorder à chaque indicateur de durabilité. L'évaluation reste également dépendante de l'échelle spatiale et temporelle choisie. Ces quelques remarques révèlent la complexité et le défi que représente l'évaluation des systèmes de production et de transformation au regard du développement durable (chap. 12). Une évaluation renvoie aux normes, aux valeurs et aux objectifs sur lesquels elle se fonde. En ce sens, évaluer l'impact de ces systèmes sur la durabilité peut aussi être un acte politique, qui doit alors s'appuyer sur un processus de concertation concernant des choix explicites en termes d'objectifs à privilégier, d'acteurs à soutenir, de biens à maximiser, de compromis à accepter. L'évaluation ne sert donc pas uniquement à mesurer des phénomènes et à produire des connaissances, à partir desquelles « on » prendrait des décisions.

La question de l'évaluation de l'impact du mode de production sur la durabilité impose une approche interdisciplinaire. Dans le chapitre 12, les auteurs s'interrogent par exemple sur la façon de quantifier le bénéfice qu'aurait la société à faire préserver une petite surface de terre fertile par quelques agriculteurs dont, par ailleurs, le revenu individuel et la productivité du travail sont amoindris par l'adoption de mesures conservatoires ; il reste à définir comment traduire ce bénéfice sous forme de compensations, monétaires ou pas. Des questions similaires se posent pour la biodiversité, la qualité des paysages, les ressources en eau. Les avancées méthodologiques en économie de l'environnement et leurs applications dans le domaine de la forêt et du stockage du carbone constituent des pistes pour l'évaluation multicritère afin d'accompagner la transition agro-écologique.

Évaluer un ensemble de services et de compromis

Évaluer un ensemble de services et de compromis entre services

Les services rendus à la société tout entière par les écosystèmes agricoles ne peuvent plus être réduits à la seule production de biens marchands sanctionnée par un résultat économique. L'agriculture et la forêt fournissent, en plus des services fondamentaux d'approvisionnement (aliments, fibres, énergie, matériaux...), un ensemble de services à la société : des services de régulation (cycle de l'eau, gaz à effet de serre, bioagresseurs), des services culturels... L'évaluation de ces différents services, et symétriquement des impacts négatifs — les dysservices qui peuvent être générés —, amène à repenser les implications des activités agricoles pour la société. Le citoyen-consommateur prend conscience de la valeur de ces services et est de plus en plus disposé à payer pour des produits à haute valeur qualitative, territoriale, ou éthiquement, écologiquement responsables ; le secteur privé et des filières entières se structurent autour de cette demande en forte croissance. L'évaluation de ces services pose bien évidemment la question de la recherche des compromis acceptables entre ces services et des arbitrages qui peuvent effectués grâce à des leviers touchant aux changements de pratiques agricoles, à l'organisation territoriale des activités, aux incitations et aux sanctions, grâce à des instruments de politiques publiques et privées. Ces arbitrages dépendent eux-mêmes des valeurs accordées à ces services par les acteurs des territoires, des marchés et des politiques publiques (chap. 5, 8 et 16).

Mettre au point des méthodes standardisées et partagées d'évaluation

Améliorer et proposer de nouvelles méthodes et des outils d'évaluation compréhensibles, robustes et adoptables par le plus grand nombre, afin de disposer de références communes dans l'évaluation des performances des systèmes de production et de transformation, apparaît comme une priorité (chap. 1, 5, 6, 7, 8 et 12). L'analyse de cycle de vie est par exemple une méthode normalisée qui illustre ce renouvellement des approches d'évaluation des systèmes ; elle s'appuie sur une évaluation prenant en compte toutes les ressources mobilisées par un processus de production. Elle est bien adaptée à l'évaluation environnementale des systèmes de production et de transformation dans leur dimension globale, sans être

conduites actuellement pour en faire un outil d'évaluation des performances sociales et à l'échelle territoriale (chap. 6). D'autres méthodes sont aussi mises au point par la recherche en s'appuyant sur des outils mathématiques (méthode multi-attributs et d'optimisation sous contrainte par exemple) mais restent encore peu utilisées par les acteurs du développement (chap. 12). On doit reconnaître les avancées méthodologiques inégales entre évaluation environnementale, économique et sociale de la durabilité. Si l'évaluation environnementale reste un exercice complexe, nous disposons cependant déjà pour en rendre compte d'un ensemble de méthodes et d'outils permettant de qualifier des performances et des impacts des systèmes, alors que peu de méthodes et d'outils sont disponibles pour évaluer des performances économiques et surtout sociales (chap. 12). À titre d'exemple, les quantifications des notions d'équité, de répartition de la valeur ajoutée, d'employabilité dans les territoires ruraux restent des défis majeurs.

Combiner les échelles d'évaluation des performances

La nécessité de développer une capacité d'évaluation multi-échelle des performances économiques, sociales, environnementales des systèmes apparaît dans plusieurs des retours d'expérience présentés dans cet ouvrage. La définition d'indicateurs intégrés des performances des systèmes à différents niveaux d'organisation correspond à une priorité des chercheurs et des agents du développement pour permettre les choix et les arbitrages intégrant les points de vue d'un maximum d'acteurs. Le niveau des territoires apparaît clairement comme celui de la conception de nouvelles formes d'organisation qui contribuent à la gestion durable des ressources (chap. 5 et 7). C'est à ce niveau que sont arbitrés les usages des ressources ainsi que les compromis dans leurs usages ; en effet, le territoire se définit par une communauté de vie et d'action qui force et fonde de telles décisions (chap. 16).

Les défis à relever pour la transition agro-écologique

Des niveaux nationaux et internationaux qui doivent

plus s'impliquer

En complément des leviers organisationnels (plateforme d'innovation et dispositif territorial) et économiques (actions sur les marchés et sur les filières), les leviers politiques apparaissent comme essentiels à la mise en place de la transition agro-écologique (chap. 6, 8, 10, 14, 16 et 17). Le développement de la transition agro-écologique sur de grandes surfaces dépend de la mise en œuvre de politiques nationales dédiées, de leurs capacités à valoriser de nouveaux services. L'importance de ces politiques nationales peut s'apprécier en rappelant le rôle qu'elles ont eu dans la mise en place de la révolution verte.

Celle-ci a été promue après la seconde guerre mondiale et au début des années 1960, dans les pays du Sud, confrontés à des famines régionales et à des risques de pénurie alimentaire globale. Sous les auspices des grands bailleurs et des donateurs d'ordre internationaux, un ensemble d'investissements, de paquets technologiques, de systèmes de crédits, et d'appuis institutionnels et financiers ont été mis en place. Ces politiques furent aussi, avec des trajectoires nationales différentes mais sur des principes similaires, engagées dans les pays aujourd'hui industrialisés et émergents. L'effort fut d'ailleurs bien plus significatif dans les pays du Nord et en Asie du Sud et du Sud-Est, dans un contexte de guerre froide. La révolution verte a ainsi été initiée dans un monde dans lequel les États avaient un poids déterminant et où la gouvernance mondiale, encore balbutiante, profitait néanmoins d'un élan très important (fig. 18.1).

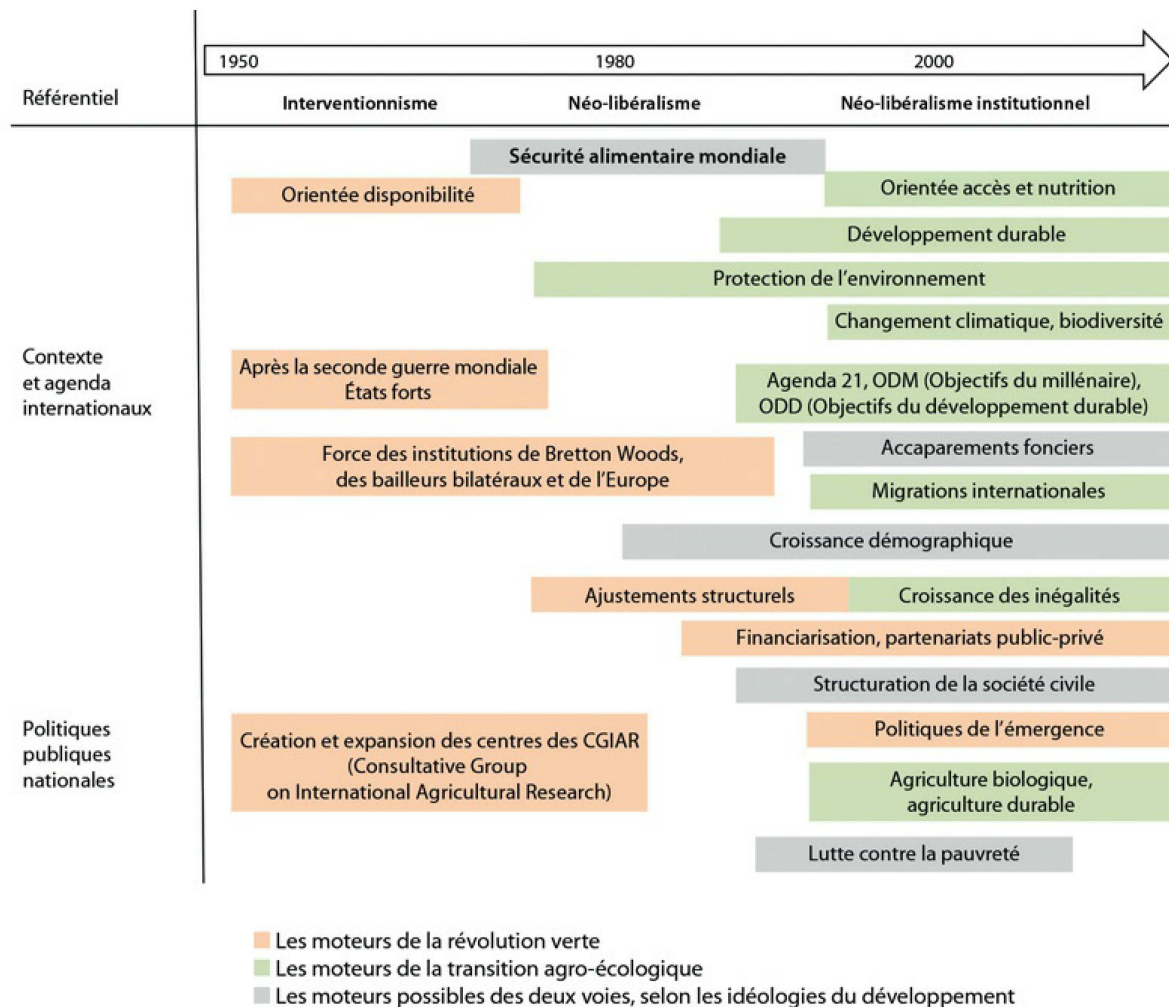


Figure 18.1. Les moteurs internationaux de la révolution verte et de l'agro-écologie de 1945 à 2018.

Dans la figure 18.2, nous avons comparé les caractéristiques principales de la révolution verte avec celles attendues ou avérées de la transition agro-écologique. Cette figure indique les limites de l'agro-écologie selon les tenants de la révolution verte, à savoir ses risques économiques liés à l'incapacité de ses modèles à produire suffisamment, pour les agriculteurs eux-mêmes, mais au-delà pour l'ensemble des sociétés. Parmi ces risques, on compte l'implication supposée plus faible des filières avec les conséquences potentielles négatives sur le secteur de l'agroalimentaire actuel.

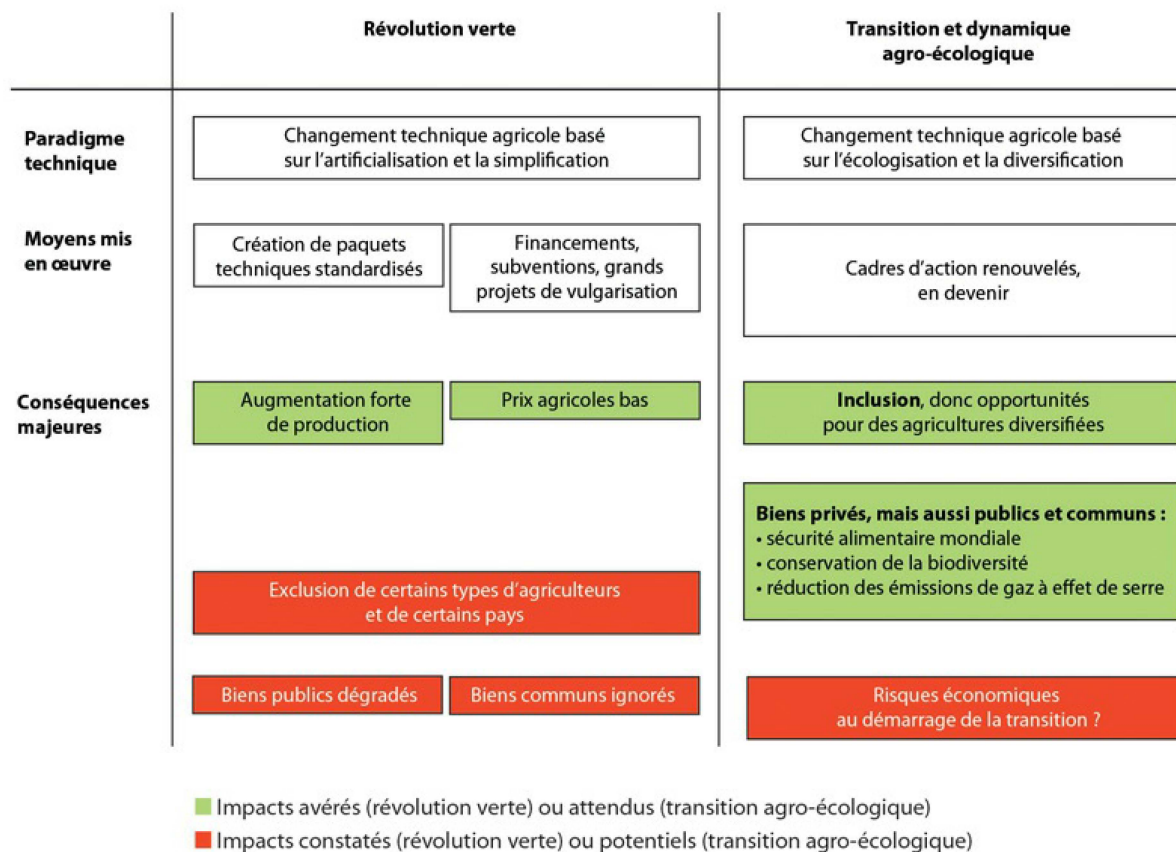


Figure 18.2. Comparaison schématique entre les transitions aboutissant au changement technique en agriculture dans le cadre de la révolution verte et dans le cadre de la transition agro-écologique.

Cette comparaison, alors que les différents modèles continuent d’opérer simultanément, pose la question de l’accompagnement politique international et national de la transition agro-écologique. La révolution verte a atteint ses objectifs car elle a bénéficié aux niveaux national et international de financements importants au moment de sa mise en place, sous forme directe ou indirecte (prêts bonifiés et investissements dans les infrastructures, services de recherche et d’accompagnement nationaux et internationaux, etc.) et continue d’en bénéficier sous forme de multiples subventions directes et indirectes par les politiques de marché. Aujourd’hui comme hier, l’action publique est cruciale pour impulser les changements. Cette comparaison rapide montre comment les politiques publiques nationales et les agendas internationaux ont joué un rôle-clef dans le succès de la révolution verte. La transition agro-écologique pour se développer devra également bénéficier de ces appuis.

Articuler les différents cadres d’action de la

transition agro-écologique

Nous avons présenté dans cette synthèse de l'ouvrage les différents cadres d'action pour l'accompagnement de la transition agro-écologique. Chacun assure un ensemble de fonctions résumées dans le tableau 18.3. En complément des dispositifs d'action décrits précédemment, nous avons également fait figurer dans ce tableau les initiatives de la société civile qui nous paraissent essentielles pour le développement de la transition agro-écologique et que nous décrirons plus en détail dans la section suivante.

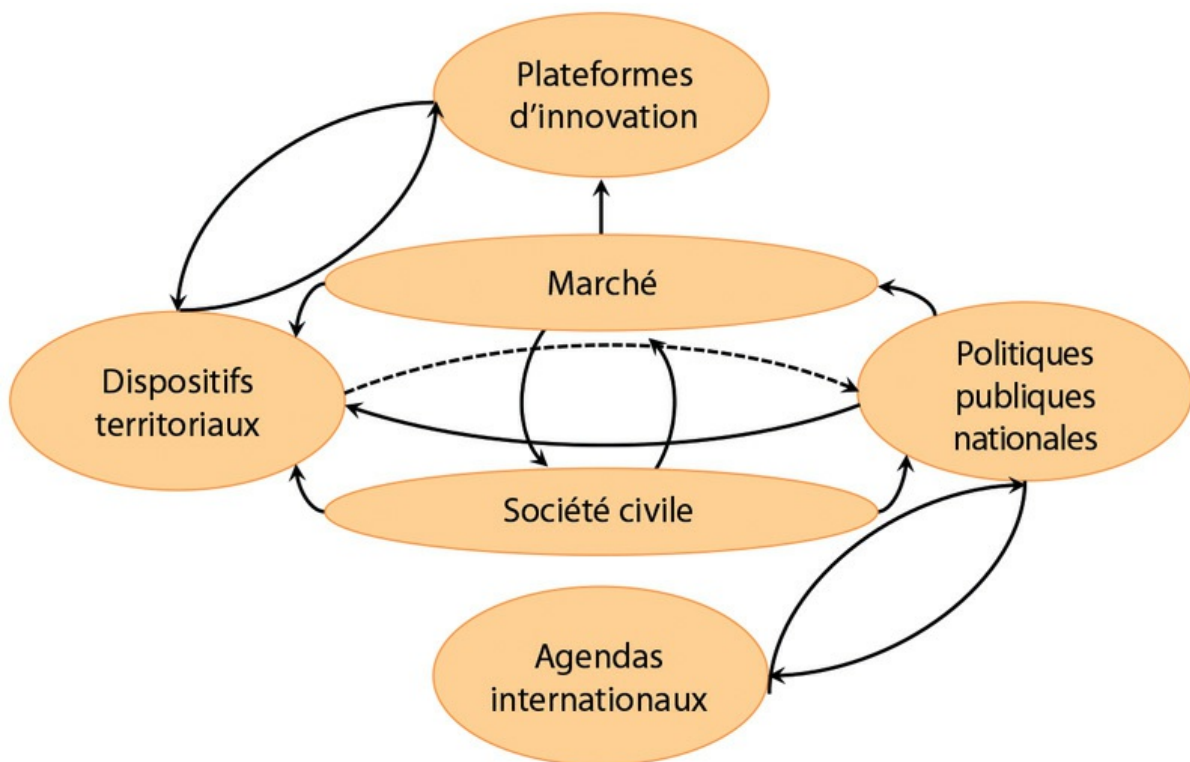
Tableau 18.3. Fonctions des différents dispositifs d'accompagnement de la transition agro-écologique.

Fonctions visées	Dispositifs d'action de la transition agro-écologique				
	Plateformes d'innovation	Dispositifs territoriaux	Accompagnement de la mise en marché et de l'essor de nouvelles filières	Politiques publiques nationales	Ager inter
Analyse du contexte des systèmes de production et de transformation et des systèmes alimentaires	+++	++			
Analyse du contexte (normes, acteurs, règles de partage)	+++	+++			
Évaluation multicritère des performances des systèmes	+++	+++	++	+	+
Conception et expérimentation des solutions techniques	+++	+		+	
Conception/évaluation et					

expérimentation des solutions organisationnelles	++	+++	+		
Conception de normes sur les modalités de production et sur la qualité des produits	++	++	++	+++	
Définition des règles et des normes	+	++	+	+++	++
Gestion des ressources aux échelles locales et régionales	+++	+++		++	
Gestion des ressources aux échelles globales (essentiellement mondiale)		+		+++	+++
Financement de la transition agro-écologique	++	++	++	++	+++
Contribution à la modification des filières et des marchés (nouveaux marchés de services, autres critères de qualité intrinsèques et extrinsèques rémunérés, etc.)	+	+++	+++	++	++
Conception et mise en œuvre de plaidoyers en faveur de la transition agro-	++	++			++

Le nombre de croix exprime l'apport de différents dispositifs d'accompagnement à des fonctions attendues pour la mise en place de la transition agro-écologique.

L'agenda de la transition agro-écologique est ambitieux et un des défis majeurs du développement de cette transition correspond à la capacité de relier les différents cadres d'action en organisant notamment les flux d'informations entre eux. Nous avons tenté de représenter sur la figure 18.3 les relations entre les différents cadres d'action.



— Relations espérées entre dispositifs territoriaux et politiques nationales

Figure 18.3. Les dispositifs d'action de la transition agro-écologique.

Dans ce schéma, on distingue trois grands ensembles : des cadres locaux incluant les plateformes d'innovation et les dispositifs territoriaux, intimement liés, partageant des acteurs et des localisations ; des cadres plus extérieurs (que sont les politiques publiques nationales, les agendas et les grands accords internationaux). Enfin, deux ensembles, les marchés et les sociétés civiles, ont des dynamiques propres et interagissent fortement entre eux.

La transition agro-écologique sait prendre forme au niveau local, quels que soient les liens avec d'autres échelles. Ce niveau local peut également bénéficier de dynamiques impulsées par les centres urbains dont certains prennent en main l'organisation de leurs systèmes alimentaires, voire se fédèrent dans certains cas pour échanger leurs expériences et renforcer leurs capacités d'action. Il est probable que les niveaux local et régional correspondent à un passage obligé de la transition agro-écologique. Au-delà des niveaux local et régional, la mise en place de la transition semble avant tout dépendante de la volonté des politiques nationales, de leurs capacités à valoriser les différents services des systèmes de production basés sur les principes de la transition agro-écologique, de l'influence de la société civile, de la volonté et de la capacité des marchés à valoriser les nouvelles façons de produire.

Avec les producteurs, les décideurs et les consommateurs, construire et partager les plaidoyers de la transition

Le constat partagé dans cet ouvrage et par une multitude des acteurs engagés dans l'appui à la transition agro-écologique est que même si nous avons accumulé des connaissances et des expériences qui devraient permettre d'engager cette transition, celle-ci peine encore à être reconnue. À de rares exceptions près, les moteurs de la transition ne sont en effet pas encore suffisamment actifs, visibles, efficaces. Même si la société et les pouvoirs publics sont de plus en plus conscients que les défis sont urgents et prégnants, même si nous savons que nous compromettons notre avenir en n'agissant pas, la complexité de la gouvernance internationale, les rigidités des comptabilités publiques nationales et l'inertie de la décision publique à tous les niveaux, la faible rémunération des producteurs, les firmes qui favorisent les bénéfices et la rentabilité du capital à court terme conduisent à reporter décisions et actions. Il est clair que cette transition, qui semble incontournable, ne sera pas facile : elle heurte de nombreux intérêts et interroge nos modes de consommation. C'est probablement lorsque la société civile dans sa majorité (consommateurs et citoyens) sera convaincue de l'urgence et exercera une pression que des transformations pourront survenir. Il faut donc continuer à documenter les défis, partager les expériences, évaluer la contribution de la transition à la durabilité et aux services, comparer les modes de production et les systèmes alimentaires sur la base d'indicateurs pertinents pour faire la différence

entre les systèmes qui contribuent au développement durable, souhaitables et possibles, et ceux qui ne le font pas, et communiquer largement à ce sujet. Pour construire des plaidoyers convaincants, il faut poursuivre les expériences locales, territoriales, de transition agro-écologique et chercher à comprendre plus profondément les conditions et conséquences du succès des initiatives, en particulier de celles qui permettent l'action cohérente à différents niveaux d'organisation et l'expression d'une transition à une échelle significative.

Pour autant, l'adhésion citoyenne devra aussi compter sur des orientations claires et importantes en termes d'action publique. Il faudra construire des coalitions réunissant le secteur agricole et les consommateurs (en particulier urbains) pour arriver à peser politiquement, y compris à l'international, sur les décisions en faveur de l'agro-écologie et corriger l'asymétrie de rapports de force entre les tenants des modèles sociotechniques conventionnels et ceux des modèles agro-écologiques. À ce titre, les conditions d'accès au foncier, aux capacités d'investissement, au conseil technique, aux marchés et aux financements doivent être questionnées et repensées.

Dans la construction des plaidoyers, les organisations non gouvernementales (ONG) et leur regroupement comme le Groupe de travail sur les transitions agro-écologiques (GTAE) ont joué et continuent à jouer, à travers des actions de formation, de recherche et développement un rôle déterminant de promotion de la transition agro-écologique, tant au niveau local que régional et international.

La transition agro-écologique doit également s'inscrire dans un contexte où d'autres évolutions sont à l'œuvre et modifient profondément le monde : la transition énergétique et le déclin inéluctable des sources d'énergies fossiles, la dégradation avérée des ressources non renouvelables, l'altération continue des écosystèmes et de la biodiversité. Les capacités de la transition agro-écologique à représenter une partie des réponses aux problèmes posés par ces autres évolutions doivent constituer un élément fort du plaidoyer.

Analyser et documenter les facteurs déclencheurs de la transition agro-écologique à une échelle significative

Plusieurs points-clefs émergent des différents chapitres de cet ouvrage quant aux conditions à réunir pour que des initiatives expérimentales locales contribuent à une généralisation des pratiques et des systèmes alimentaires basés sur les principes de l'agro-écologie.

Nous préférons ici éviter l'expression « changement d'échelles ». Cette expression fait écho à un concept peu adapté à l'agro-écologie. Elle part de l'hypothèse selon laquelle il faudrait tester une solution localement pour ensuite la reproduire. Or, nous avons vu que les contextes sont chaque fois différents, que les répliques s'avèrent donc souvent difficiles ou impossibles sans adaptation, qu'il faut par conséquent une pluralité d'actions à différents niveaux d'organisation, entreprises de manière cohérente, pour que la transition s'opère. Le changement technique peut être expérimenté à l'échelle du système de culture ou d'élevage, mais la transition agro-écologique ne prend corps que s'il y a changement d'organisation de l'exploitation, changement organisationnel dans les territoires et les filières, évolution des politiques publiques, initiatives des consommateurs, etc.

L'importance de la valorisation marchande des produits est, comme nous l'avons vu précédemment, une des conditions de la réalisation et de l'impact de la transition agro-écologique à une échelle significative. Pour cela, il est nécessaire de construire des alliances avec le secteur privé, en particulier les entreprises, globales ou locales, disposées à assumer une partie des risques de cette transition. C'est un élargissement qui est proposé ici : si l'agro-écologie est née dans le champ de la production, en particulier pour prendre en compte ses dimensions écologiques et environnementales, son déploiement interroge l'ensemble des systèmes alimentaires au-delà des seules étapes de la production et de la transformation.

Il a été également souligné dans cet ouvrage la nécessaire prise en compte des temps longs, notamment de ceux des apprentissages, dans le processus de transition agro-écologique : les écarts entre promesses et résultats tiennent souvent de l'inadéquation de l'approche « projet » avec le rythme des apprentissages individuels et collectifs (chap. 14). L'expression de la transition agro-écologique à une échelle significative doit tenir compte de cette difficulté.

Produire de nouvelles connaissances et renouveler les approches de recherche

Si des progrès très importants ont été acquis ces dix dernières années en termes de compréhension des mécanismes biophysiques et organisationnels à mettre en œuvre pour une transition agro-écologique, des connaissances restent à produire. Nous distinguons en particulier les actions de recherche prioritaires suivantes en appui au développement de cette transition.

Mieux expliciter le rôle de la diversité

Les différents chapitres montrent qu'un effort particulier de recherche doit être mis sur la compréhension des mécanismes de régulation biologiques en rapport avec la biodiversité. Cela concerne par exemple le fonctionnement des sols, la gestion de la biodiversité aux échelles combinées de la parcelle et du paysage, l'étude des liens entre biodiversité, risque climatique et résilience (chap. 13).

Proposer de nouveaux indicateurs de performance

D'une manière générale, il faut mieux mesurer la contribution des systèmes agricoles et alimentaires aux services écosystémiques et à l'atteinte des objectifs du développement durable. Cela passe par la documentation de domaines encore mal connus dans les systèmes de production, comme la productivité du travail, l'ergonomie, mais aussi, à d'autres échelles temporelles, l'adaptation des systèmes au changement climatique et à la raréfaction de la disponibilité en eau dans de nombreuses régions. Il faut aussi pouvoir mesurer la capacité des systèmes à favoriser l'emploi, la réduction des inégalités, le développement social dans les territoires et à d'autres échelles spatiales.

Développer des recherches en sciences sociales sur l'accompagnement de l'innovation pour la transition

Il s'agit de comprendre et de renforcer les processus d'apprentissage

individuels et collectifs, les mécanismes de coordination entre acteurs pour innover (réseaux, plateformes, etc.). Il importe aussi de mieux caractériser et renforcer les capacités des services d'appui à l'innovation, notamment en fonction de ses différentes phases.

Préciser l'apport des systèmes agro-écologiques au fonctionnement et à la durabilité des systèmes alimentaires et des territoires

Comme nous l'avons vu précédemment, transition agro-écologique et transition des systèmes alimentaires sont intimement liées. Progresser sur la voie de la transition agro-écologique, c'est également préciser les liens qui lient cette transition au développement de nouveaux systèmes alimentaires. Pour cela il faut :

- mieux caractériser la diversité au sein des systèmes alimentaires et l'effet de cette diversité sur la santé des consommateurs ;
- étudier l'organisation des systèmes alimentaires et leur durabilité, en interaction avec les modes de production et les effets des différents types d'intervention publique ou privée sur ces systèmes (par exemple cahier des charges des cantines publiques) ;
- étudier les flux de matière à l'échelle des territoires (recyclage et valorisation des effluents et des déchets, gestion de la biomasse, traitement des pollutions) et les compromis d'usage dans un contexte d'économie circulaire ;
- mesurer le contenu en emplois (et la qualité de ces emplois) selon les différents modes de production, transformation et distribution.

Participer à la compréhension et à l'élaboration d'une action publique adaptée aux besoins de la transition agro-écologique

Une part importante des articles de cet ouvrage souligne l'importance capitale de l'action publique pour développer la transition agro-écologique au-delà du niveau local. Les actions-clefs de recherche pour le développement de l'action publique concernent par exemple :

- au plan national, l'analyse multisectorielle des cadres politiques existants (environnement, agriculture, transport et infrastructure, eau et hydraulique

agricole, commerce, etc.), de leur capacité à soutenir la transition, de leurs impacts sur les territoires ;

– au plan régional ou territorial, l'identification contextuelle des modalités adaptées de financement de la transition (investissements, instruments économiques et financiers, systèmes bancaires et de crédit, etc.) ;

– l'exploration des modalités innovantes de rémunération, par l'État ou par les marchés, des services rendus ;

– la co-construction de l'action publique en territorialisant les politiques publiques nationales (adaptations, prise en compte des contraintes et besoins) selon des principes d'inclusion, d'équité et de durabilité.

Prendre en compte la spécificité des genres

La FAO estime que les femmes produisent de 60 à 80 % des aliments dans la plupart des pays en développement et sont responsables de la moitié de la production alimentaire mondiale. Elles sont également souvent les principaux acteurs de la transformation et de la mise en marché. Il ne saurait donc y avoir de transition agro-écologique sans une prise en compte du rôle des femmes. Ce rôle, s'il est un peu mieux reconnu depuis quelques années, reste cependant peu documenté et a été peu illustré dans les chapitres de cet ouvrage. Il appartient à la recherche et à ses partenaires de combler ce déficit, de façon active, engagée, et robuste aux plans scientifique et méthodologique.

La prise en compte des spécificités des genres dans les compétences techniques ou immatérielles doit permettre d'adapter les systèmes d'appui et de conseil à l'agriculture, pour les rendre plus équitables. Ces organisations privilégient historiquement les hommes et leurs activités, favorisant l'accroissement des disparités de pouvoir. Une approche « par le genre » pourrait donc permettre de rééquilibrer les pouvoirs de décision entre les hommes et les femmes dans les ménages agricoles, tout en améliorant la coopération intrafamiliale pour une meilleure valorisation des compétences collectives et une meilleure performance technique, sociale et humaine *in fine*.

En reprenant les travaux de Guetat-Bernard (2014), de Prévost *et al.* (2014) et de Lourme-Ruiz *et al.* (2016), nous avons dégagé plusieurs axes de travail qui nous semblent prioritaires en vue de documenter et reconnaître la place des femmes comme acteurs de la transition agro-

écologique.

Tout d'abord, il est important de caractériser la place des femmes dans les processus de production, de transformation, de mise en marché ; mais aussi l'accès différencié aux ressources et facteurs de production (foncier par exemple), dont elles sont souvent privées. Il s'agit de caractériser la distribution de la valeur eu égard au rôle des femmes et à leurs emplois.

Il s'agit aussi de documenter leurs savoirs et leurs compétences spécifiques dans le domaine de l'agro-biodiversité, des semences, de la transformation des produits, en lien notamment avec l'alimentation ; leurs rôles dans les processus productifs et décisionnels à l'échelle de ménages et d'exploitations agricoles engagés en agro-écologie mais également dans les processus de décision aux échelles locales, nationales et internationales, et notamment leur vision des processus d'innovation ; ainsi que leurs participations spécifiques dans les réseaux de connaissance et la circulation de l'information technique au sein des communautés locales, dans les transferts de connaissance dans un contexte de transition.

On devra enfin, s'interroger sur le risque de ré-assignation à des tâches domestiques, que les femmes encourent souvent lorsqu'il y a changement dans les systèmes techniques.

Un rapprochement des communautés scientifiques qui travaillent sur le genre et celles qui travaillent sur les processus biophysiques et organisationnels de l'agro-écologie nous apparaît essentiel pour documenter la place actuelle des femmes et celle qu'elles devraient tenir dans la transition agro-écologique.

Repenser la place de la recherche

Au-delà de ces thèmes pour lesquels une production de connaissances nouvelles est nécessaire, la posture de la recherche a évolué et doit continuer à évoluer. Le positionnement de la recherche issue de la révolution verte, « *top-down* », normative et prescriptive, est en effet remis en cause par le caractère contextualisé et multi-acteur de la transition agro-écologique. La nouvelle transition oblige à parier sur les systèmes locaux d'innovation et à renouveler les questions scientifiques et la façon de les traiter pour tenir compte de ces nouvelles relations avec les acteurs locaux.

La recherche est ainsi de plus en plus sollicitée dans l'étude de nouveaux processus collaboratifs interacteurs et intersectoriels, et même pour sa capacité à jouer un rôle de facilitateur en mobilisant les différents acteurs de la transition.

Conclusion

Le faisceau de retours d'expérience proposé par cet ouvrage converge vers quelques points saillants, aptes à caractériser l'état d'avancement de la transition agro-écologique, à en pointer les acquis mais aussi les difficultés. Pour faire évoluer les modes de production et les systèmes alimentaires vers plus de durabilité, les alternatives techniques basées sur les concepts de l'agro-écologie, accompagnées de changements organisationnels et institutionnels sont possibles. Ces alternatives sont contingentes, c'est-à-dire qu'elles sont présentes et s'avèrent pertinentes au regard d'un contexte territorial toujours particulier du point de vue des acteurs et des capitaux et actifs impliqués (capitaux humain, social, physique, naturel, financier).

Cette contingence nous incite à la plus grande prudence concernant toute ambition d'une réplique à grande échelle, par simple diffusion, duplication ou extrapolation des solutions adoptées localement vers des territoires plus vastes. La transition agro-écologique est avant tout la réorganisation d'un système dans son ensemble, qui repose sur des changements individuels et collectifs coordonnés ainsi que sur des ressources territoriales uniques ou spécifiques.

La contextualisation de la transition agro-écologique ne disqualifie pas la nécessité de capitaliser des connaissances de base, génériques, qui permettent de nourrir des propositions de solutions et d'innovation dans d'autres territoires. L'analyse des expériences rapportées dans cet ouvrage permet d'identifier les besoins en connaissances génériques, les pistes de recherche qui requièrent encore des efforts.


La transition agro-écologique est un cheminement, une démarche exploratoire collective, itérative, participative et territorialisée, fondée sur des bases de connaissances locales, à renouveler, et mobilisant les connaissances scientifiques. Dans ce cheminement, la recherche doit s'allier avec d'autres acteurs-clefs de la transition (formation, conseil

agricole, services techniques et financiers à l'agriculture, secteur privé et filières, autorités publiques locales et régionales).

Au final, la transition agro-écologique ne pourra pas s'accomplir pleinement sans une prise de conscience des consommateurs et des citoyens et sans la montée en puissance des forces motrices supra-locales. Des acteurs nationaux et internationaux doivent s'impliquer et impulser un souffle politique, des orientations et des choix explicites qui touchent à la conception même qu'ils ont des sociétés et de l'avenir de la planète.

Références

Altieri M.A., 1983. *Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture*, Div. of Biol. Control, U.C. Berkeley, États-Unis, 162 p.

Altieri M.A., Nicholls C., Montalba R., 2017. Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: An agroecological perspective. *Sustainability*, 9 (3), 349, <https://doi.org/10.3390/su9030349> .

Caron P., Ferrero y de Loma-Osorio G., Nabarro D., Hainzelin E., Guillou M., Andersen I., Arnold T., Astralaga M., Beukeboom M., Bickersteth S., Bwalya M., Caballero P., Campbell B.M., Divine N., Fan S., Frick M., Friis A., Gallagher M., Halkin J.-P., Hanson C., Lasbennes F., Ribera T., Rockstrom J., Schuepbach M., Steer A., Tutwiler A., Verburg G., 2018. Food systems for sustainable development: proposals for a profound four-part transformation. *Agron Sustain Dev*, 38, 41.

Caron P., Valette E., Wassenaar T., d'Eeckenbrugge G., Papazian V., 2017. *Des territoires vivants pour transformer le monde*, éditions Quæ, Versailles, 280 p.

Daly H., 1990. Commentary: Toward some operational principles of sustainable development. *Ecological Economics*, 2 (1990), 1-6.

FAO, 2018. International Symposium on Agroecology: Scaling Up agroecology to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs), avril 2018, www.fao.org/partnerships/civil-society/events/details-events/en/c/1073831 .

Gliessman S., 2014. *Agroecology: The ecology of sustainable food*

systems, 3^e édition, CRC Press, Boca Raton, États-Unis, 405 p.

Griffon M., 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Quæ, Versailles, 224 p.

Guétat-Bernard H., 2014. *Féminin-masculin : Genre et agricultures familiales*, coll. Nature et société, éditions Quæ, Versailles, 248 p.

HLPE, 2016. Sustainable agricultural development for food security and nutrition: What roles for livestock? Rapport du High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome, Italie, 140 p., www.fao.org/3/a-i5795e.pdf ☐.

Lourme-Ruiz A., Dury S., Martin-Prével Y., 2016. Consomme-t-on ce que l'on sème ? Relations entre diversité de la production, revenu agricole et diversité alimentaire au Burkina Faso. *Cahiers agricultures*, 25 (6), 11.

Ostrom E., 1993. Design principles in long-enduring irrigation institutions. *Water Resour Res*, 29, 1907-1912.

Prévost H., Esmeraldo G.G.S.L., Guétat-Bernard H., 2014. Il n'y aura pas d'agroécologie sans féminisme : L'expérience brésilienne. *Pour*, 2014/2 (222), 275-284, <http://dx.doi.org/10.3917/pour.222.0275> ☐.

Stassart M.P., Baret P., Grégoire J.-C., Hance Th., Mormont M., Reheul D., Stilmant D., Vanloqueren G., Visser M., 2012. L'agroécologie : Trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. In : *Agroécologie entre pratiques et sciences sociales* (D. Van Dam, J. Nizet, M. Streit, eds), Éducagri, Dijon.

Thérond O., Duru M., Roger-Estrade J., Richard G., 2017. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agronomic Sustainable Development*, 37 (21), <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7> ☐.

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515, <https://doi.org/10.1051/agro/2009004> ☐.

35<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/fr/c/272982> ☐ (consulté le

20/08/2018).

36 <http://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/fr> (consulté le 20/08/2018).

37 www.ipes-food.org/images/CoreDocs/West-Africa-concept-note_FR.pdf (consulté le 20/08/2018).

38 www.intensafrica.org.

39 Les éléments de cette partie sont largement tirés de l'atlas *Une nouvelle ruralité émergente, Regards croisés sur les transformations rurales africaines*, publié par le Nepad et le Cirad (Pesche *et al.*, 2016).

40 L'architecture urbaine de l'Afrique subsaharienne se caractérisant par ailleurs par la domination des capitales et des villes secondaires faibles en infrastructures et peu diversifiées économiquement, la question de l'emploi agricole est d'autant plus stratégique dans la majorité des territoires.

41 Voir pour des exemples les études de cas décrivant les moteurs et les réalités de l'intensification agricole en Afrique subsaharienne, sur <http://www.intensafrica.org>.

42 L'ariary, abrégé en Ar, est la monnaie malgache.

43 Dans le cas de Madagascar, les ménages les plus pauvres n'ont pas la capacité de diversifier leurs activités ni de répondre aux incitations classiques de politiques publiques. Il faut envisager d'autres formes pour déclencher une transformation ; des transferts de *cash* inconditionnels et des équipements publics font partie d'une possible boîte à outils, mais des innovations restent sûrement à inventer.

44 Un transfert d'impact peut se produire lorsqu'un processus au cours d'une étape de production de la filière est amélioré mais au détriment d'un autre, à une autre étape de la filière. De la même manière, un impact environnemental peut être réduit *via* l'amélioration d'un processus mais qui entraîne l'augmentation d'un autre impact environnemental. Si l'analyse ne prend pas en compte l'ensemble des étapes et des impacts, ces transferts peuvent ne pas être repérés et les améliorations supposées avoir des effets contre-productifs.

45 ISO 14040 et 14044 (2006).

46 *Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems*, voir <http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/package+MASC/?!language=fr> (consultée le 05/10/2018).

47 Voir chap. 11.

48 Un réseau facilité est un modèle d'entreprise reposant sur une plateforme partagée permettant aux individus d'échanger des ressources et des services. Les réseaux facilités sont un moyen d'optimiser la collaboration et les apprentissages entre des organisations, généralement en permettant à la plateforme de monétiser auprès de ses membres les ressources et services (adhésion, droit d'accès et d'échange)

49 Nous adoptons dans ce texte la définition de la transition agro-écologique présentée dans le chapitre introductif.

50 Par la suite, nous rassemblons sous le terme de « dispositif marchand » l'ensemble des modalités d'échanges et d'expériences innovantes pour la valorisation des produits agro-écologiques.

51 La théorie de la transition s'intéresse aux grandes transformations qui impliquent des ruptures importantes, ayant un impact sur les parties prenantes, leur modalité d'engagement et leurs pratiques. Cette théorie met en avant la dimension sociale, inhérente à la diffusion d'innovations techniques.

52 Issus de la consommation de masse qui se traduit par l'acquisition d'un nombre important de produits et d'équipements à moindre coût.

53 Ensemble des produits alimentaires, jus de fruits, produits artisanaux vendus dans la région.

54 Recensement de l'agriculture 2004-2005, région d'Analamanga.

55 Différents acteurs sud-africains impliqués dans la commercialisation du rooibos sur les marchés d'export font état de cas d'utilisation abusive de ce nom. Une entreprise américaine

de cosmétiques à base de rooibos, Annique, a déposé la marque « Rooibos » en 1994.

56Le *living lab* a été inventé à la fin des années 1990, au Massachusetts Institute of Technology, MIT Media Lab, puis développé en Europe avec la création, en 2006, d'un réseau européen des *living labs* : *European Network of Living Labs*.

57Ces études de cas et leur synthèse sont présentées dans Sabourin *et al.*, 2017.

58Pour une revue de différentes définitions du concept d'agro-écologie, consulter Altieri (1983, 2017), Gliessman (2014), Wezel (2009), Stassart et Barret (2012).

59En référence à la distinction entre durabilité faible et durabilité forte introduite par Daly (1990).

60 High Level Panel of Experts (FAO).

Liste des encadrés

Encadré 5.1. Historique des politiques de stabilisation de la défriche-brûlis et de modernisation de l'agriculture au Laos
d'après Castella et Phimmasone, 2017

Encadré 9.1. L'approche transcriptomique de la sélection du caféier
B. Bertrand, J.-C. Breitler, F. Georget, É. Penot, M. Bordeaux, P. Marraccini, S. Lérant, C. Campa, O. Bonato, L. Villain, H. Étienne

Encadré 11.1. L'association des caféiers et de l'érythrine
B. Rapidel

Encadré 11.2. Les processus *push-pull* en culture de canne à sucre
F.-R. Goebel

Encadré 11.3. L'agroforesterie en Afrique soudano-sahélienne
B. Rapidel

Encadré 11.4. Les plantes de service en bananeraies
P. Tixier

Encadré 11.5. La gestion des enherbements spontanés en vergers
F. Le Bellec

Encadré 11.6. L'agroforesterie à base de caféier et la fourniture de services écosystémiques
B. Rapidel

Encadré 11.7. Les systèmes agroforestiers humides
É. Malézieux

Encadré 13.1. L'agrobiodiversité : un bien commun pour augmenter la résilience au changement climatique
E. Torquebiau, P. Roudier, J. Demenois, S. Saj, É. Hainzelin, F. Maraux

Encadré 15.1. Un exemple de verrouillage socio-technique au Brésil
C. Cerdan

Encadré 15.2. Diversité des dispositifs d'échanges se revendiquant de l'agro-écologie

C. Cerdan, E. Biénabe, H. David-Benz, S. Lemeilleur, D. Marie-Vivien, I. Vagneron, P. Moustier

Encadré 16.1. Charte foncière et transition agro-écologique

É. Vall

Encadré 16.2. Des dispositifs territoriaux pour consolider l'approche paysagère au Laos

J.-C. Castella, P. Lienhard, J. Bourgoïn, G. Lestrelin, S. Phimmasone

Encadré 16.3. Les arrangements productifs locaux au Brésil pour favoriser l'agro-écologie

É. Polge

Encadré 16.4. Certification territoriale en Amazonie à Paragominas

R. Pocard

Encadré 16.5. Le Pôle syndical de la Borborema : un acteur politique au service de la transition agro-écologique

M. Piraux

Liste des auteurs

Achard Raphaël

UPR Geco, Cirad, Le Lamentin, Martinique, France

raphael.achard@cirad.fr ✉

Affholder François

UPR Aida, Cirad, Montpellier, France

francois.affholder@cirad.fr ✉

Andrieu Nadine

UMR Innovation, Cirad, Cali, Colombie

nadine.andrieu@cirad.fr ✉

Aubertot Jean-Noël

UMR Agir, Inra, Toulouse, France

jean-noel.aubertot@inra.fr ✉

Autfray Patrice

UPR Aida, Cirad, Antsirabe, Madagascar

patrice.autfray@cirad.fr ✉

Avelino Jacques

UPR Bioagresseurs, Cirad, San José, Costa Rica

jacques.avelino@cirad.fr ✉

Basset-Mens Claudine

UPR Hortsys, Cirad, Le Lamentin, Martinique, France

claudine.basset-mens@cirad.fr ✉

Bélières Jean-François

UMR Art-dev, Cirad, Antananarivo, Madagascar

jean-francois.belieres@cirad.fr ✉

Belmin Raphaël

UPR Hortsys, Cirad, Montpellier, France

raphael.belmin@cirad.fr ✉

Bertrand Benoît
UMR IPME, Cirad, Montpellier, France
benoit.bertrand@cirad.fr ✉

Bessou Cécile
UPR Systèmes de cultures pérennes, Cirad, Montpellier, France
cecile.bessou@cirad.fr ✉

Biard Yannick
UPR Hortsys, Cirad, Montpellier, France
yannick.biard@cirad.fr ✉

Biénabe Estelle
UMR Innovation, Cirad, Hanoi, Vietnam
estelle.bienabe@cirad.fr ✉

Blanchard Mélanie
UMR Selmet, Cirad, Hanoi, Vietnam
melanie.blanchard@cirad.fr ✉

Bonato Olivier
UMR IPME, IRD, Montpellier, France
olivier.bonato@ird.fr ✉

Bonin Muriel
UMR Tetis, Cirad, Montpellier, France
muriel.bonin@cirad.fr ✉

Bordeaux Mélanie
Fondation Nicafrance, Matagalpa, Nicaragua
research@fundacionnicafrance.org ✉

Bougnoux Nathalie
AFD, Paris, France
bougnouxn@afd.fr ✉

Bougouma Valérie
Université Nazi Boni, Bobo-dioulasso, Burkina Faso
bouval2000@yahoo.fr ✉

Brat Pierre

UMR Qualisud, Cirad, Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France
pierre.brat@cirad.fr ✉

Breitler Jean-Christophe
UMR IPME, Cirad, Jalapa, Mexique
jean-christophe.breitler@cirad.fr ✉

Campa Claudine
UMR IPME, IRD, Montpellier, France
claudine.campa@ird.fr ✉

Caron Patrick
DGDRS, Cirad, Montpellier, France
patrick.caron@cirad.fr ✉

Castella Jean-Christophe
UPR Aida, IRD, Montpellier, France
jean-christophe.castella@cirad.fr ✉

Cerdan Claire
UMR Innovation, Saint-Pierre, La Réunion, France
claire.cerdan@cirad.fr ✉

Chabrier Christian
UPR Geco, Cirad, Montpellier, France
christian.chabrier@cirad.fr ✉

Chia Eduardo
UMR Innovation, Cirad, Montpellier, France
eduardo.chia@cirad.fr ✉

Côte François-Xavier
Direction Persyst, Cirad, Montpellier, France
francois.cote@cirad.fr ✉

Coulibaly Kalifa
Université Nazi Boni, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
kalifacoull@yahoo.fr ✉

Cournarie Morgane
AFD, Vientiane, Laos

cournariem@afd.fr ✉

Cresson Céline
ITAB, Paris, France
celine.cresson@itab.asso.fr ✉

d'Aquino Patrick
UMR Green, Cirad, Vientiane, Laos
patrick.daquino@cirad.fr ✉

Dabiré Der
USPAE, Cirdes, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
dsdabire@yahoo.fr ✉

Damour Gaëlle
UPR Geco, Cirad, Montpellier, France
gaelle.damour@cirad.fr ✉

David-Benz Hélène
UMR Moisa, Cirad, Montpellier, France
helene.david-benz@cirad.fr ✉

de Cambiaire Jean-Charles
Sainte-Anne, La Réunion
decambiaire@hotmail.com ✉

de Lapeyre Luc
UPR Geco, Cirad, Montpellier, France
luc.de_lapeyre_de_bellaire@cirad.fr ✉

de Melo Elias
Catie, Costa Rica
eliasdem@catie.ac.cr ✉

Deguine Jean-Philippe
UMR PVBMT, Saint-Pierre, La Réunion, France
jean-philippe.deguine@cirad.fr ✉

Deletre Émilie
UPR Hortsys, Cirad, Nairobi, Kenya
emilie.deletre@cirad.fr ✉

Delma Jethro-Balkewnde
PA, Inera, Ouagadougou, Burkina Faso
delmabjethro@yahoo.fr ✉

Demenois Julien
UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
julien.demenois@cirad.fr ✉

Dorel Marc
UPR Geco, Cirad, Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France
marc.dorel@cirad.fr ✉

Douzet Jean-Marie
UPR Aida, Cirad, Ouagadougou, Burkina Faso
jean-marie.douzet@cirad.fr ✉

Du Castel Christophe
AFD, Paris, France
ducastel@afd.fr ✉

Dusserre Julie
UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
julie.dusserre@cirad.fr ✉

Étienne Hervé
UMR IPME, Cirad, Montpellier, France
herve.etienne@cirad.fr ✉

Fares M'hand UMR Selmet, Inra, Montpellier, France
mehand.fares@inra.fr ✉

Faure Guy
UMR Innovation, Cirad, Montpellier, France
guy.faure@cirad.fr ✉

Ferrand Pierre
Gret, Vientiane, Laos
ferrand@gret.org ✉

Feschet Pauline
UPR Geco, Cirad, Le Lamentin, Martinique, France

pauline.feschet@cirad.fr ✉

Fréguin Gresh Sandrine
UMR Art-dev, Cirad, Montpellier, France
sandrine.freguin@cirad.fr ✉

Georget Frédéric
UMR IMPE, Cirad, Tres Rios Cartago, Costa Rica
frederic.georget@cirad.fr ✉

Goebel François-Régis
UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
francois-regis.goebel@cirad.fr ✉

Guillermet Claire
UPR Geco, Cirad, Le Lamentin, Martinique, France
claire.guillermet@cirad.fr ✉

Hainzelin Étienne
Direction, Cirad, Gatineau, Canada
etienne.hainzelin@cirad.fr ✉

Harmand Jean-Michel
UMR Eco&Sols, Cirad, Yaoundé, Cameroun
jean-michel.harmand@cirad.fr ✉

Havard Michel
UMR Innovation, Cirad, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
michel.havard@cirad.fr ✉

Jagoret Patrick
UMR System, Cirad, Montpellier, France
patrick.jagoret@cirad.fr ✉

Karambiri Médina-Sheila
USPAE, Cirdes, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
sheila-medina.karambiri@cirad.fr ✉

Kola Nomande Prosper
Cedres, Université de Ouaga 2, Ouagadougou, Burkina Faso.
kola.nomande@gmail.com ✉

Kouakou Patrice Koffi
UPR Aida, Cirad, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
patrice.kouakou@cirad.fr ✉

Koutou Mahamoudou
USPAE, Cirades, Cirad, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
madkout@yahoo.fr ✉

Lairez Juliette
UPR Aida, Cirad, Ventiane, Laos
juliette.lairez@cirad.fr ✉

Lakhia Steewy
UPR Geco, Cirad, Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France
steewy.lakhia@cirad.fr ✉

Lambert Guy
UMR Prism, CNRS, Marseille, France
guy.lambert@prism.cnrs.fr ✉

Laurent Philippe
Université de la Réunion, Saint-Pierre, La Réunion
philippe.laurent@univ-reunion.fr ✉

Le Bellec Fabrice
UPR Hortsys, Cirad, Saint-Pierre, Réunion, France
fabrice.le_bellec@cirad.fr ✉

Le Coq Jean-François
UMR Art-dev, Cirad/CIAT, Cali, Colombie
jean-francois.le_coq@cirad.fr ✉

Lemeilleur Sylvaine
UMR Moisa, Cirad, Montpellier, France
sylvaine.lemeilleur@cirad.fr ✉

Léran Sophie
UMR IPME, Cirad, Montpellier, France
sophie.leran@cirad.fr ✉

Lienhard Pascal

UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
pascal.lienhard@cirad.fr ✉

Loeillet Denis
UPR Geco, Cirad, Montpellier, France
denis.loeillet@cirad.fr ✉

Malézieux Éric
UPR Hortsys, Cirad, Montpellier, France
eric.malezieux@cirad.fr ✉

Maraux Florent
DGD-RS, Cirad, Montpellier, France
florent.maraux@cirad.fr ✉

Marie-Vivien Delphine
UMR Innovation, Cirad, Montpellier, France
delphine.marie-vivien@cirad.fr ✉

Marquier Marlène
FDGDON, Saint-Pierre, Reunion, France
marlene.marquier@fdgdon974.fr ✉

Marraccini Pierre
UMR IPME, Cirad, Hanoi, Vietnam
pierre.marraccini@cirad.fr ✉

Martin Thibaud
UPR Hortsys, Cirad, Abidjan, Côte d'Ivoire
thibaud.martin@cirad.fr ✉

Marzin Jacques
UMR Art-dev, Cirad, Montpellier, France
jacques.marzin@cirad.fr ✉

Mathé Syndhia
UMR Innovation, Cirad, Yaoundé, Cameroun.
syndhia.mathe@cirad.fr ✉

Meynard Paul
UPR Geco, Cirad, Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France

charles.meynard@cirad.fr ✉

Moustier Paule
UMR Moisa, Cirad, Montpellier, France
paule.moustier@cirad.fr ✉

Muriel Bonin
UMR Tetis, Cirad, Montpellier, France
muriel.bonin@cirad.fr ✉

Naudin Krishna
UPR Aida, Cirad, Planaltina, Brésil
krishna.naudin@cirad.fr ✉

Niederle Paulo
UFRGS PGDR, Rio grande do Sul, Brésil
pauloniederle@gmail.com ✉

Nordey Thibault
UPR Hortsys, Cirad, Arusha, Tanzanie
thibault.nordey@cirad.fr ✉

Nurbel Toulassi
Armeflhor, Saint-Pierre, La Réunion, France
toulassi.nurbel@armeflhor.fr ✉

Olo Sib
USPAE, Cirdes, Cirad, Bobo-dioulasso, Burkina Faso
sibollo84@yahoo.fr ✉

Ouédraogo Souleymane
GRN-SP, Inera, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
osilamana@yahoo.fr ✉

Parrot Laurent
UPR Hortsys, Cirad, Montpellier, France
laurent.parrot@cirad.fr ✉

Patrouilleau Maria Mercedes
INTA, Buenos Aires, Argentine
patrouilleau.mm@inta.gob.ar ✉

Penot Éric
UMR Innovation, Cirad, Montpellier, France
eric.penot@cirad.fr ✉

Perret Sylvain
Direction ES, Cirad, Montpellier, France
sylvain.perret@cirad.fr ✉

Piroux Marc
UMR Tetis, Cirad, Bélem, Brésil
marc.piroux@cirad.fr ✉

Poccard-Chapuis René
UMR Selmet, Cirad, Bélem, Brésil
rene.poccard-chapuis@cirad.fr ✉

Poirier-Magona Emmanuelle
AFD, Paris, France
poirier-magonae@afd.fr ✉

Polge Étienne
UMR Territoires, Irstea, Aubière, France
etienne.polge@irstea.fr ✉

Raboin Louis-Marie
UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
louis-marie.raboin@cirad.fr ✉

Rafflegeau Sylvain
UMR System, Cirad, Montpellier, France
sylvain.rafflegeau@cirad.fr ✉

Raharison Tahina
UMR Moisa, Cirad, Montpellier, France
tahinarison@yahoo.fr ✉

Rakotoarisoa Jacqueline
Fofifa, Antananarivo, Madagascar
j.rakotoarisoa@cirad.mg ✉

Ramanantsoanirina Alain

Fofifa, Antsirabe, Madagascar
alainmj55@gmail.com ✉

Randrianjafizanaka Meva Tahiry
Spad, Antananarivo, Madagascar
rmtahiry@yahoo.fr ✉

Rapidel Bruno
Direction Persyst, Cirad, Montpellier, France
bruno.rapidel@cirad.fr ✉

Rasolofo Laingo Irintsoa
Projet EcoAfrica, Antsirabe, Madagascar
laingoirintsoa@yahoo.com ✉

Raveloson Harinjaka
Fofifa, Antsirabe, Madagascar
raveloharinjaka@yahoo.fr ✉

Razafimahatratra Mamy
UMR Innovation, Cirad, Montpellier, France
mamy.razafimahatratra@cirad.fr ✉

Risède Jean-Michel
UPR Geco, Cirad, Le Lamentin, Martinique, France
jean-michel.risede@cirad.fr ✉

Roudier Philippe
AFD, Paris, France
roudiERP@afd.fr ✉

Ruf François
UMR Innovation, Cirad, Montpellier, France
francois.ruf@cirad.fr ✉

Sabourin Éric
UMR Art-Dev, Cirad/UnB, Brasilia, Brésil
eric.sabourin@cirad.fr ✉

Saj Stéphane
UMR System, Cirad, Kourou, Guyane française

stephane.saj@cirad.fr ✉

Salgado Paulo
UMR Selmet, Cirad, Antsirabe, Madagascar
paulo.salgado@cirad.fr ✉

Salmon Frédéric
UMR Agap, Cirad, Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France
frederic.salmon@cirad.fr ✉

Scopel Éric
UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
eric.scopel@cirad.fr ✉

Sester Mathilde
UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
mathilde.sester@cirad.fr ✉

Sib Ollo
UMR Selmet, Cirad, Montpellier, France
ollo.sib@cirad.fr ✉

Simon Serge
UPR Hortsys, Cirad, Dakar, Sénégal
serge.simon@cirad.fr ✉

Snoeck Didier
UPR Systèmes de cultures pérennes, Cirad, Montpellier, France
didier.snoeck@cirad.fr ✉

Sourisseau Jean-Michel
UMR Art-Dev, Cirad, Montpellier, France
jean-michel.sourisseau@cirad.fr ✉

Thirion Marie-Cécile
AFD, Rangoun, Birmanie
thirionmc@afd.fr ✉

Tixier Philippe
UPR Geco, Cirad, Montpellier, France
philippe.tixier@cirad.fr ✉

Toillier Aurélie
UMR Innovation, Cirad, Ouagadougou, Burkina-Faso
Aurelie.toillier@cirad.fr ✉

Tonneau Jean-Philippe
UMR Tetis, Cirad, Montpellier, France
jean-philippe.tonneau@cirad.fr ✉

Torquebiau Emmanuel
UPR Aida, Cirad, Montpellier, France
emmanuel.torquebiau@cirad.fr ✉

Tran Quoc Hoa
UPR Geco, Cirad, Ventiane, Laos
hoa.tran_quoc@cirad.fr ✉

Triomphe Bernard
UMR Innovation, Cirad/ IICA, Mexico, Mexique
bernard.triomphe@cirad.fr ✉

Tsafack Sygnola
Icraf, World Agroforestry Centre, Yaoundé, Cameroun
sygnola@yahoo.fr ✉

Vagneron Isabelle
UMR Moisa, Cirad, Ventiane, Laos
isabelle.vagneron@cirad.fr ✉

Vall Éric
UMR Selmet, Cirad, Montpellier, France
eric.vall@cirad.fr ✉

Vanhuffel Luc
Chambre d'agriculture de la Réunion, la Réunion, France
luc.vanhuffel@reunion.chambagri.fr ✉

Vásquez Luis
Inisav, La Havana, Cuba
lvazquezmoreno@yahoo.es ✉

Villain Luc

UMR IPME, Cirad, Montpellier, France

luc.villain@cirad.fr ✉

Vincenot Didier

Chambre d'agriculture de la Réunion, France

didier.vincenot@reunion.chambagri.fr ✉

Vom Brocke Kirsten

UMR Agap, Cirad, Antsirabe, Madagascar

kirsten.vom_brocke@cirad.fr ✉

Wibaux Thomas

UPR Systèmes de cultures pérennes, Cirad, Abidjan, Côte d'Ivoire

thomas.wibaux@cirad.fr ✉

Liste des sigles

Instituts et organisations

AFD : Agence française de développement

Armeflhor : Association réunionnaise pour la modernisation de l'économie fruitière, légumière et horticole, France

Catie : Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

Cedres : Centre d'études, de documentation et de recherche économiques et sociales, Burkina Faso

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France

Cirdes : Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide, Burkina Faso

CNRS : Centre national de la recherche scientifique, France

FDGDON : Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles de la Réunion, France

Fofifa : Centre national de la recherche appliquée au développement rural, Madagascar

Gret : Groupe de recherche et d'échanges technologiques, France

GRN-SP-Inera : Programme gestion des ressources naturelles, système de production, Inera, Burkina Faso

IICA : Institut interaméricain de coopération pour l'agriculture, Mexique

Inera : Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Burkina Faso

Inisav : Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, Cuba

Inra : Institut national de la recherche agronomique, France

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentine

IRD : Institut de recherche pour le développement, France

Itab : Institut technique de l'agriculture biologique, France

IT2 : Institut technique tropical

USPAE : unité des systèmes de production agropastoraux et environnement, Cirdes, Burkina Faso

UFRGS-PGDR: Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Programa de Posgrado en Desarrollo Rural, Brésil

Unités de recherche

UMR Agap : Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales

UMR Agir : Agro-écologie, innovations et territoires

UPR Aida : Agro-écologie et intensification durable des cultures annuelles

UMR Art-dev : Acteurs, ressources et territoires dans le développement

UPR Bioagresseurs : Bioagresseurs : analyse et maîtrise du risque

UPR Eco&sols : Écologie fonctionnelle et biogéochimie des sols et des agro-écosystèmes

UPR Geco : Fonctionnement écologique et gestion durable des agrosystèmes bananiers et ananas

UPR Green : Gestion des ressources renouvelables et environnement

UPR Hortsys : Fonctionnement agro-écologique et performances des systèmes de culture horticoles

UMR IPME : Interactions plantes micro-organismes environnement

UMR Innovation : Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation

UMR Moisa : Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs

UMR Prism : Perception, représentations, image, son, musique

UPR PVBMT : Peuplements végétaux et bio-agresseurs en milieu tropical

UMR Qualisud : Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité
UMR Selmet : Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux
UMR System : Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens
UPR systèmes de pérennes : Performance des systèmes de culture des plantes pérennes
UMR Tetis : Territoires, environnement, télédétection et information spatiale

Coordination éditoriale : Ève Denonnin, Claire Jourdan-Ruf

Édition : Mickaël Legrand

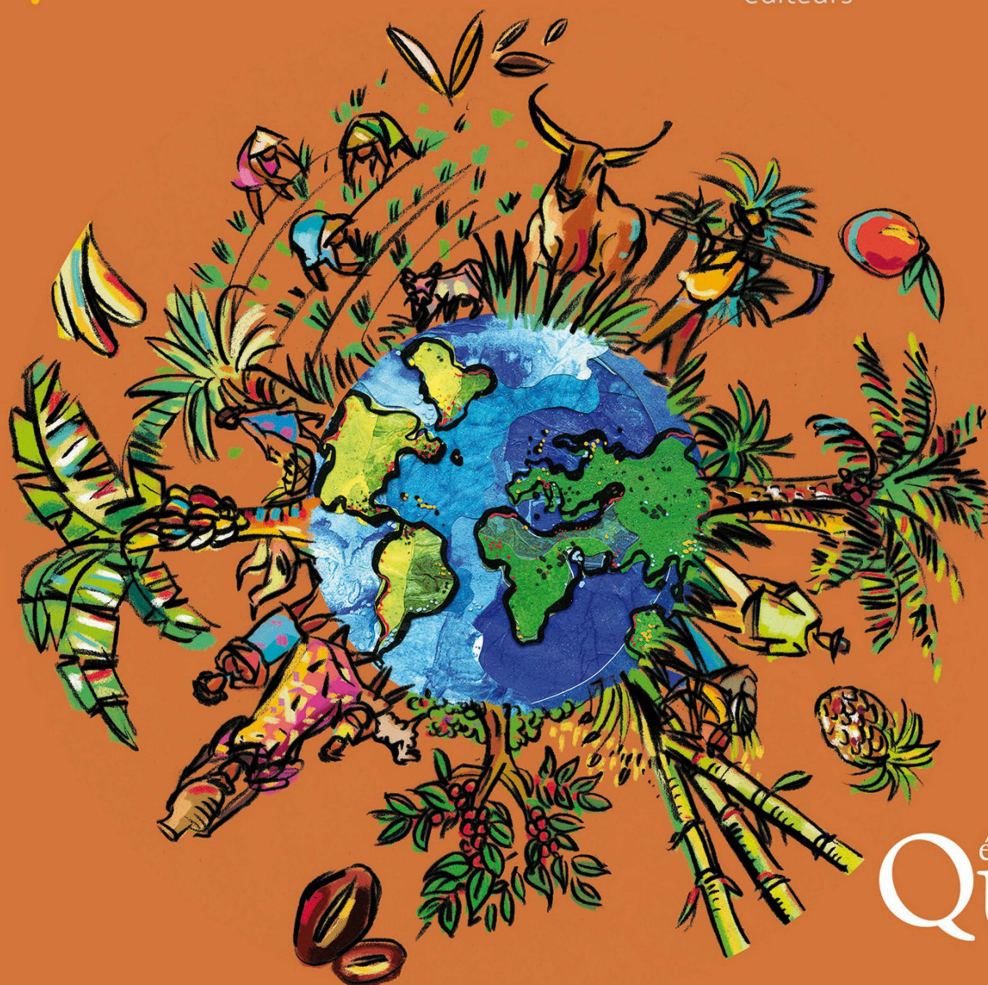
Infographie : Hélène Bonnet



AGRICULTURES
ET DÉFIS DU MONDE
Collection Cirad-AFD

La transition agro-écologique des agricultures du Sud

F.-X. Côte, E. Poirier-Magona,
S. Perret, P. Roudier,
B. Rapidel, M.-C. Thirion,
éditeurs



éditions
Quæ

Table des Matières

Table des matières	2
La transition agro-écologique des agricultures du Sud	5
Préface	8
Remerciements	11
Introduction	12
Partie 1 - Études de cas	15
Chapitre 1 - Co-concevoir des systèmes de polyculture-élevage innovants en zone cotonnière au Burkina Faso	15
Chapitre 2 - L'agro-écologie à Madagascar : de la plante au paysage	43
Chapitre 3 - L'agroforesterie : des pratiques diversifiées pour la transition agro-écologique de la cacaoculture africaine	80
Chapitre 4 - Des filets anti-insectes pour faciliter la transition agro-écologique en Afrique	104
Chapitre 5 - Accompagner les acteurs de la transition agro-écologique au Laos	124
Chapitre 6 - La transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises	149
Chapitre 7 - Développement de systèmes agro-écologiques horticoles à la Réunion	179
Chapitre 8 - L'accompagnement de la transition agro-écologique dans les systèmes agroforestiers d'Amérique centrale	200
Chapitre 9 - De nouvelles variétés pour des systèmes caféiers agroforestiers innovants	231
Partie 2 - Focus thématiques	257
Chapitre 10 - Les moteurs du développement de l'agro-	

écologie en Afrique subsaharienne : illustration sur les Hautes Terres malgaches	257
Chapitre 11 - Des processus de régulation naturelle à l'innovation technique, quelles solutions agro-écologiques pour les agricultures du Sud ?	286
Chapitre 12 - Évaluation des compromis entre enjeux environnementaux et socio-économiques dans les systèmes agro-écologiques	313
Chapitre 13 - Agro-écologie et changement climatique : des liens intimes et porteurs d'espoir	344
Chapitre 14 - L'écologisation de l'agriculture au prisme de l'innovation collaborative	359
Chapitre 15 - Quelles dynamiques marchandes pour promouvoir la transition agro-écologique ?	392
Chapitre 16 - Les dispositifs territoriaux : des biens communs pour construire la transition agro-écologique	422
Chapitre 17 - Politiques publiques d'appui à l'agro-écologie en Amérique latine : leçons et perspectives	451
Chapitre 18 - Transition agro-écologique des agricultures des pays du Sud : retours d'expériences et perspectives	472
Liste des encadrés	510
Liste des auteurs	512
Liste des sigles	526